

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA



**DISEÑO ANALÍTICO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE TIPO
PEM, A BAJA TEMPERATURA, PARA GENERAR ENERGÍA Y
REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN LA MINERA ASTALDI-ALTO
PIURA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO**

AUTOR

EDGARD FERNANDO URRUTIA GONZALES

ASESOR

LUCIO ANTONIO LLONTOP MENDOZA

<https://orcid.org/0000-0002-2561-0126>

Chiclayo, 2020

**DISEÑO ANALÍTICO DE UNA CELDA DE COMBUSTIBLE
TIPO PEM, A BAJA TEMPERATURA, PARA GENERAR
ENERGÍA Y REDUCIR LA CONTAMINACIÓN EN LA
MINERA ASTALDI-ALTO PIURA**

PRESENTADA POR

EDGARD FERNANDO URRUTIA GONZALES

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICO

APROBADA POR

Alexander Querevalu Morante

PRESIDENTE

Amado Aguinaga Paz

SECRETARIO

Lucio Antonio Llontop Mendoza

VOCAL

DEDICATORIA

A mi familia, por ser mi apoyo y mi sostén en esta etapa importante de mi vida, en mis logros y en mis caídas apoyarme desde primera instancia y ser el pilar más importante.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, Miguel y Silvia, por haberme brindado su apoyo en esta etapa de mi vida, a darme su apoyo total e incondicional a darme fuerzas para continuar y creer en mi desde un primer momento.

A mis abuelos, Demóstenes y Gladys, por los consejos que me brindaron y me siguen brindando en el camino que llevo, por su gran apoyo y por ser un modelo de persona a la cual yo aspiro llegar a ser.

A mis hermanos y primos, por ser el motivo por el cual me esforcé y me sigo esforzando para que sientan que todo se puede lograr con paciencia y dedicación, por alegrar mis días y por el apoyo que me hacen ser mejor cada día.

A mis tíos, Robinson y Sandra, por la colaboración que me brindaron durante toda mi formación y en este proyecto.

Al Ing. Lucio Antonio Llontop Mendoza, por la colaboración brindada durante este proyecto.

A los profesionales de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica y la Facultad de Ingeniería, por ser parte fundamental en mi formación como profesional, por brindarme sus conocimientos, consejos y experiencias que me servirán toda la vida.

A mis amigos, futuros colegas por ser partícipes de esta etapa, por su amistad, consejos y experiencias, y por los gratos momentos entre risas y bromas.

Finalmente, agradezco a cada una de las personas que intervinieron de manera directa e indirecta en este proyecto.

ÍNDICE

| | | |
|-------------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 13 |
| 1.1. | Situación Problemática | 13 |
| 1.2. | Formulación del problema | 14 |
| 1.3. | Objetivos | 14 |
| 1.3.1. | Objetivo General | 14 |
| 1.3.2. | Objetivos específicos | 14 |
| 1.4. | Justificación | 15 |
| 1.5. | Hipótesis | 15 |
| II. | PRECEDENTES | 16 |
| 2.1. | El hidrógeno: Antecedes y Propiedades | 16 |
| 2.1.1. | Antecedentes | 16 |
| 2.1.2. | Propiedades..... | 17 |
| 2.2. | Hidrógeno como Combustible..... | 18 |
| 2.2.1. | Situación Energética Actual | 19 |
| 2.2.1.1. | Situación Energética en el Perú | 20 |
| 2.2.1.2. | Eficiencia energética en el Perú | 21 |
| 2.3. | Hidrógeno como futura opción | 21 |
| 2.3.1. | Producción de Hidrógeno | 22 |
| 2.3.1.1. | Procesos térmicos | 22 |
| 2.3.1.1.1. | Por disociación térmica del agua | 22 |
| 2.3.1.2. | Procesos Electrolíticos..... | 23 |
| 2.3.1.3. | Procesos por Combustibles fósiles | 23 |
| 2.3.1.4. | Procesos Fotolíticos | 23 |
| 2.3.2. | Seguridad y almacenamiento de Hidrógeno. | 24 |
| 2.3.2.1. | Seguridad | 24 |
| 2.3.2.2. | Almacenamiento | 24 |
| 2.4. | Hidrógeno en comparación con otros combustibles..... | 25 |
| 2.5. | La celda de Combustible a través del tiempo | 27 |
| III. | MARCO TEÓRICO | 29 |
| 3.1. | Celda de Combustible | 29 |
| 3.2. | Tipos de Celdas..... | 29 |

| | | |
|----------|--|----|
| 3.2.1. | Celdas Alcalinas (AFC)..... | 30 |
| 3.2.2. | Membrana de Polímero Electrolítico o membrana de intercambio de Protones (PEM)..... | 30 |
| 3.2.3. | Celdas de Ácido Fosfórico (PAFC)..... | 31 |
| 3.2.4. | Celdas de carbón derretido (MCFC)..... | 31 |
| 3.2.5. | Celdas de Oxido Solido (SOFC)..... | 31 |
| 3.3. | Pila de combustible de membrana de intercambio de protones..... | 32 |
| 3.4. | Detalle de una pila combustible..... | 33 |
| 3.5. | Elemento de una pila PEM..... | 34 |
| 3.5.1. | Electrolito (MEA)..... | 34 |
| 3.5.2. | Capas Catalíticas..... | 35 |
| 3.5.3. | Capas Difusoras..... | 35 |
| 3.5.4. | Placas Bipolares, mono-polares, colectores de corriente y terminales..... | 35 |
| 3.6. | Ventajas y desventajas de las celdas de combustible..... | 36 |
| IV. | EVALUACIÓN DE MAQUINARIAS PARA DETERMINAR LAS EMISIONES DE CO₂ | 38 |
| V. | BALANCE DE ENERGÍA PARA CALCULAR LA MATERIA PRIMA NECESARIA | 40 |
| 5.1. | Consumo de hidrógeno según vehículo..... | 44 |
| 5.2. | Costo Semanal según combustible..... | 46 |
| 5.3. | Costos según mantenimiento..... | 46 |
| VI. | SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DE LA CELDA TIPO PEM | 50 |
| 6.1. | Membrana de intercambio protónico..... | 50 |
| 6.1.1. | Clasificación de materiales de membranas..... | 51 |
| 6.1.1.1. | Membranas perfluorosulfonadas..... | 51 |
| 6.1.1.2. | Membranas no fluoradas..... | 53 |
| 6.1.1.3. | Membranas de complejos ácido- base..... | 53 |
| 6.1.1.4. | Membrana de quitosán..... | 54 |
| | Fig. 23 Membrana de Nafion y su representación estructural..... | 56 |
| 6.2. | Placas Bipolares, monopolares, colectores de corriente y terminales..... | 56 |
| VII. | DISEÑO | 59 |
| 7.1. | Configuración de un stack o pila..... | 59 |
| 7.2. | Modelamiento en Estado Estacionario..... | 60 |
| 7.2.1. | Potencial de Nernst..... | 60 |
| 7.2.2. | Sobre potencial de Activación..... | 63 |
| 7.2.3. | Sobre potencial Óhmico..... | 64 |

| | | |
|--------|--|----|
| 7.2.4. | Sobre potencial de Concentración | 65 |
| 7.3. | Diseño analítico..... | 66 |
| 7.3.1. | Potencial de Nernst..... | 67 |
| 7.3.2. | Sobre potencial de activación | 68 |
| 7.3.3. | Sobre potencial Óhmico..... | 69 |
| 7.3.4. | Sobre potencial de concentración | 70 |
| 7.4. | Evaluación correspondiente para la potencia de las maquinarias..... | 72 |
| 7.4.1. | Camión Volquete | 73 |
| 7.4.2. | Cargador frontal | 78 |
| 7.4.3. | Plancha Chancadora | 80 |
| 7.5. | Resultados obtenidos para el diseño de las diversas celdas tipo PEM..... | 82 |
| VIII. | CONCLUSIONES..... | 85 |
| IX. | RECOMENDACIONES | 86 |
| X. | BIBLIOGRAFÍA..... | 87 |
| XI | ANEXOS..... | 90 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Fig. 1 Esquema del átomo de hidrógeno [1] | 16 |
| Fig. 2 Consumo de energía primaria 2016 [5]..... | 19 |
| Fig. 3 Consumo de energía primaria por combustible. [6]..... | 19 |
| Fig. 4 Consumo de energía – 2040 Proyecciones [5]..... | 20 |
| Fig. 5 Proyección del Consumo Final de energía [7] | 20 |
| Fig. 6 Proyección del Consumo final de Energía [7] | 21 |
| Fig. 7 Densidad de energía del hidrógeno y otros combustibles [12] | 27 |
| Fig. 8 Plan de avance del componente energético [14]..... | 27 |
| Fig. 9 Fuentes de datos y rendimientos de una pila de combustible de hidrógeno [16]..... | 29 |
| Fig. 10 Esquema de la actividad fundamental de un dispositivo de potencia [20]..... | 33 |
| Fig. 11 Segmentos que componen una celda mono de una pila de composición [16] | 34 |
| Fig. 12 Tabla del Factor de emisión [22] | 39 |
| Fig. 13 Tabla de eficiencias volumétricas y de masa de diversos avances de almacenamiento de hidrógeno [27]..... | 42 |
| Fig. 14 Tipos de depósitos para almacenamiento de hidrogeno [28] | 42 |
| Fig. 15 Comparación del costo total de propiedades entre vehículos..... | 47 |
| Fig. 16 Estructura de los polímeros Nafion® y Dow®. [38] | 51 |
| Fig. 17 Diferentes membranas comerciales de Nafion. [39]..... | 52 |
| Fig. 18 Membranas comerciales perfluorosulfónicas [40] | 52 |
| Fig. 19 Grupos funcionales más comunes para las membranas con ionómeros perfluorados [40] | 52 |
| Fig. 20 Estructura química de membranas basadas en polímeros con hidrocarburos, (b) PEEK Polo (éter éter cetona) (c) PBI Poli (benzoimidazol) [40]..... | 53 |
| Fig. 21 Estructura química de complejos: (a-d) básico; (e, f) ácidos. [42] | 54 |
| Fig. 22 Estructura química de la quitina(a); Estructura química del quitosán(b) [36] | 55 |
| Fig. 23 Membrana de Nafion y su representación estructural | 56 |
| Fig. 24. Placa colectora de cobre..... | 57 |
| Fig. 25. Placa difusora o bipolar de grafito..... | 57 |
| Fig. 26. Partes de la celda de combustible | 58 |
| Fig. 27 Esquema de apilamiento de celdas para formar una pila | 59 |
| Fig. 28 Configuración Bipolar | 59 |
| Fig. 29 Modelo de transferencia de carga en una interface [46]..... | 63 |
| Fig. 30 Valores para b_c , de la pendiente de Tafel [48] | 69 |
| Fig. 31 Valores de corriente de Intercambio [48] | 69 |
| Fig. 32 Coeficiente de transferencia de Carga | 69 |
| Fig. 33 Sobre potencial de concentración [45]..... | 71 |
| Fig. 34 Stack de Celdas de Combustibles. [34]..... | 73 |
| Fig. 35. Reporte 29/01/18 | 90 |
| Fig. 36. Reporte 30/01/18 | 91 |
| Fig. 37. Reporte 30/01/18 | 92 |
| Fig. 38. Reporte 31/01/18 | 93 |
| Fig. 39. Reporte 31/01/18 | 94 |
| Fig. 40. Reporte 01/02/18 | 95 |
| Fig. 41 Resumen 01/02/18 | 96 |
| Fig. 42. Reporte 02/02/18 | 97 |

| | |
|---|-----|
| Fig. 43. Reporte 02/02/18 | 98 |
| Fig. 44. Reporte 29/01/18 | 99 |
| Fig. 45 Reporte 03/02/18 | 100 |
| Fig. 46. Reporte 04/02/18 | 101 |
| Fig. 47. Presupuesto Maquinaria Retroexcavadora | 102 |
| Fig. 48. Presupuesto Maquinaria VOLVO NL10..... | 103 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Propiedades físicas del hidrógeno [3] | 17 |
| Tabla 2. Algunas Propiedades del Hidrógeno [2] | 18 |
| Tabla 3. Producción de Hidrógeno [2] | 24 |
| Tabla 4. Las seis estrategias fundamentales para el almacenamiento de hidrógeno. [10] | 25 |
| Tabla 5. Comparación de combustibles [11]..... | 26 |
| Tabla 6. Tipos de celdas de combustible [17]..... | 30 |
| Tabla 7. Ventajas y desventajas de los tipos de celdas. [19]..... | 32 |
| Tabla 8. Equipos dentro de la mina..... | 38 |
| Tabla 9. Consumo semanal ALTO PIURA..... | 38 |
| Tabla 10. Consumo anual..... | 38 |
| Tabla 11. Modelo y potencia de las maquinarias utilizadas..... | 41 |
| Tabla 12. Descripción del Mantenimiento del Caterpillar 420F2..... | 47 |
| Tabla 13. Descripción del Mantenimiento del VOLVO NL10..... | 48 |
| Tabla 14. Costo celdas PEM [27] | 49 |
| Tabla 15. Consumo de Combustible Diesel [34] | 49 |
| Tabla 16. Consumo de Combustible Hidrogeno [35] | 49 |
| Tabla 17. VAN y TIR..... | 50 |
| Tabla 18. Funciones de la placas bipolares y requisitos esenciales de los materiales. [21] | 56 |
| Tabla 19. Resumen de materiales | 58 |
| Tabla 20. Constantes fundamentales..... | 67 |
| Tabla 21. Propiedades termodinámicas..... | 68 |
| Tabla 22. Parámetro B y su variación con respecto a la temperatura de operación. | 71 |
| Tabla 23. Resumen de ecuaciones de Modelado analítico | 72 |
| Tabla 24. Parámetros Potencia 50kW | 74 |
| Tabla 25. Cálculos 50kW | 75 |
| Tabla 26. Resultados stack 50kW | 76 |
| Tabla 27. Cálculos stack 9kW | 77 |
| Tabla 28. Resultados Stack 9kW..... | 78 |
| Tabla 29. Cálculos para stack 10kW | 79 |
| Tabla 30. Resultados stack 10kW | 80 |
| Tabla 31. Cálculos stack 25 kW | 81 |
| Tabla 32. Resultados stack 25kW | 82 |
| Tabla 33. Resumen Celda 50kW..... | 82 |
| Tabla 34. Resumen Celda 9kW..... | 83 |
| Tabla 35. Resumen celda 10kW | 83 |
| Tabla 36. Resumen celda 25kW | 84 |

RESUMEN

La utilización de los vectores energéticos que tienen como base el combustible fósil durante tiempo prolongado ha generado fuertes impactos que a son dañinos para el medio ambiente por las emisiones del efecto invernadero, principal factor causante del calentamiento global. Por otra parte, la reducción del petróleo hará que en los próximos años se genere una crisis energética. Por tal motivo es ineludible transformar la fuente energética de los países rumbo a una donde la generación de energía sea limpia, eficiente, confiable y con insignificantes emisiones de carbono, causando que el paso de transición de utilización de los recursos sea más sostenible.

El futuro de la energía está en el hidrógeno, que cambiará a la sociedad y la economía en el mundo llevándola a la conquista de una economía energética estable.

La celda de combustible de intercambio protónico es un dispositivo que produce electricidad, calor y agua empleando hidrógeno y aire.

El proyecto a presentar trata sobre el diseño de una celda de combustible de tipo membrana de intercambio protónico, este se realizó analíticamente teniendo en cuenta lo factores que intervienen en el desarrollo.

Palabras claves: Energía, crisis, hidrógeno, celda de combustible, electricidad, calor y agua.

ABSTRACT

The use of energy vectors that are based on fossil fuel for a long time has generated strong impacts that in turn are harmful to the environment due to greenhouse gas emissions, the main factor causing global warming. On the other hand, the reduction of oil will cause an energy crisis in the coming years. For this reason, it is essential to transform the energy source of the countries towards one where the generation of energy is clean, efficient, reliable and with negligible carbon emissions, causing the step of transition of resource use to be more sustainable.

The future of energy is in hydrogen, which will change society and the economy in the world, leading it to the conquest of a stable energy economy.

The proton exchange fuel cell is a device that produces electricity, heat and water using hydrogen and air.

The project to be presented is about the design of a proton exchange membrane type fuel cell, this was done analytically taking into account the factors that intervene in the development.

Keywords: Energy, crisis, hydrogen, fuel cell, electricity, heat and water.

I. INTRODUCCIÓN

El hombre a través del tiempo ha estado avanzando científicamente, desarrollando tecnología que le permitan diseñar instrumentos para facilitar los diversos problemas que se presenten a lo largo de su día a día. Estos avances antes de llamarlos como tales comenzaron siendo curiosidad que luego seguirían siendo investigadas por científicos que completan el funcionamiento.

La celda de combustible es una investigación que ha sido reanudada después de un siglo dando gratos resultados al momento de generar energía, ya que hoy en día la problemática actual que enfrenta la humanidad es ser dependientes al consumo de combustibles fósiles para generar energía, dando como consecuencia que la contaminación del medio ambiente sea más notoria.

Actualmente con los grandes avances tecnológicos que se tiene se realizan operaciones que antes no podían ser factibles, por tal motivo este impacto tecnológico ha llegado a todo tipo de sectores de investigación siendo uno de ellos la celda de combustible con su elemento esencial el hidrógeno.

En nuestro país este tipo de generación de energía ha sido muy poco difundida ya que hoy en día se está centrando en la explotación de gas natural sin pensar en que esta puede disminuir y desaparecer considerablemente. Cabe resaltar que al ser muy poco difundida este nuevo tipo de generación de energía mediante hidrógeno el país no cuenta con la tecnología necesaria para destacar, actualmente el mercado internacional teniendo a Japón, Alemania y EEUU como los países que más desarrollo tienen en este tema comercializan equipos e instrumentos que a la larga serán necesarias para el desarrollo económico, social y ambiental.

1.1.Situación Problemática

Actualmente la contaminación se ha convertido en problema muy alarmante, siendo los combustibles fósiles el principal factor que ha deteriorado progresivamente el medio, causando cambios climáticos perjudicando la calidad de vida de los habitantes.

El petróleo con sus derivados a lo largo de su empleo comenzó a disminuir no solo por el transcurrir del tiempo sino por la mayor demanda que necesita la sociedad. Considerando que los combustibles fósiles en un futuro muy cercano van a ser mucho más limitados es necesario buscar una nueva fuente de energía renovable en este caso el Hidrógeno siendo producto de esta al combustionar el vapor de agua el cual no contamina.

1.2. Formulación del problema

¿Se podrá diseñar una celda de combustible analíticamente para generar la energía necesaria? Y así disminuir el uso de material fósil y la contaminación ambiental.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Diseñar analíticamente una celda de combustible tipo PEM, bajo el principio de generación de energía eléctrica empleando una fuente de energía sostenible con el medio ambiente

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar las maquinas existentes para determinar la cantidad de emisiones de CO₂ que generan.
- Realizar balance de energía para calcular la cantidad de materia prima necesaria para generar trabajo.
- Seleccionar el material adecuado para el diseño de la celda tipo PEM.
- Diseñar analíticamente la(s) celda(s) de combustión utilizando los datos desarrollados anteriormente.

1.4. Justificación

a) Social

Las poblaciones que habitan cerca de estas mineras no sufrirán daños en su organismo y tendrán una mejor calidad de vida.

b) Tecnológico

Las celdas de combustión generan una gran cantidad de energía y el tamaño de estas son de pequeñas y medianas dimensiones a comparación de las maquinas que se utilizan generalmente en estas zonas.

c) Económico

Se tiene presente la razón económica que se tendrá como fuente al hidrógeno, y tiene por motivo principal la disminución de los combustibles fósiles ya que siendo menos el precio aumenta, en otras palabras, la demanda crece y la oferta disminuye con respecto al tiempo. Además, la inversión inicial es alta, pero es amortizada rápidamente.

d) Ambiental

Una celda de combustión tiene por finalidad generar energía y reducir la contaminación ambiental, queriendo sustituir la utilización de fuentes fósiles. Cabe resaltar que con esto la contaminación será casi nula.

1.5. Hipótesis

A través de un diseño analítico de una celda de combustión tipo PEM, a baja temperatura de funcionamiento, producir energía para reducir la contaminación ambiental generada por la combustión de gases fósiles.

II. PRECEDENTES

2.1.El hidrógeno: Antecedes y Propiedades

El hidrógeno es el elemento químico más abundante en el universo y el tercero en la tierra.

Con símbolo químico “H”, consta de un protón y un electrón, y en estado gaseoso es una molécula biatómica, esto quiere decir que cada molécula tiene dos átomos (H_2). A pesar que es un elemento abundante el hidrógeno se combina fácilmente con otros elementos, siendo parte de otras sustancias, como en alcoholes, agua, en la biomasa de plantas y animales, etc.

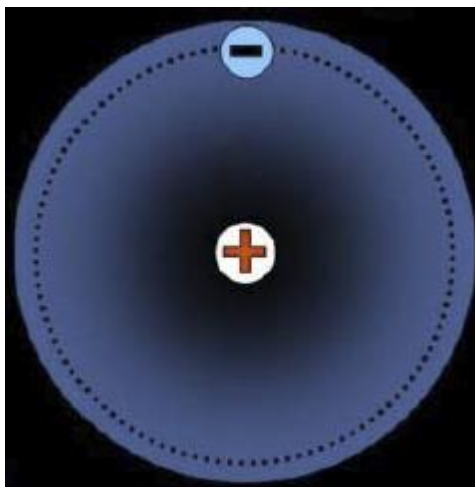


Fig. 1 Esquema del átomo de hidrógeno [1]

2.1.1. Antecedentes

En el contexto histórico de la química, la primera ocasión en la que hablamos sobre el hidrógeno, surge con la identificación de dos gases distintos como formando parte de agua, el inglés Henry Cavendish en 1766, lo nombra como aire combustible. Después, Antoine Lavoisier lo denomina de la manera en que se conoce actualmente, generador de agua.

En el siglo XIX y XX con el consumo masivo del carbón y el petróleo respectivamente se eliminaron todo tipo de posibilidad para el uso excesivo del hidrógeno. Solo algunas industrias químicas con la producción de fertilizantes en base de amoníaco y luego con la necesidad de usar el hidrógeno para eliminar el azufre y otros componentes resultados de los derivados del petróleo, se mantuvo una producción sustancial de hidrógeno. A mediados del siglo XX, con la angustia por el medio ambiente siendo dañado por la utilización de combustibles fósiles y su agotamiento, y por la era espacial, se ha retomado nuevamente el empleo de hidrógeno siendo la industria automovilística la más interesada.

El entusiasmo de las empresas aeroespaciales y automovilista por el hidrógeno es generado por la pila de combustible, donde el hidrógeno

puede ser quemado con oxígeno, cambiando calor en electricidad. Este procedimiento fue en ese momento encontrado en 1839 por el galés William R. Woods, pero su avance comenzó en la década de 1960 por la NASA para entregar electricidad y agua en una parte de sus misiones espaciales. Actualmente, un número sustancial de modelos de las marcas principales de automóviles están probando pilas de combustible de diferentes tipos y combustibles. [2]

2.1.2. Propiedades

El hidrógeno es generalmente un gas, el más abundante del universo y es el combustible de las estrellas por lo tanto del sol, por lo que la energía que nos envía es la base de todos los procedimientos orgánicos, químicos y físicos que ocurren en la tierra.

El hidrógeno está presente en forma molecular o iónica, sin embargo, no es accesible para nosotros. El yacimiento más cercano está Júpiter, fuera del alcance actualmente. En la Tierra, trágicamente, el hidrógeno está en su mayor parte unido al agua, no hay hidrógeno libre y la corteza terrestre está formada principalmente por oxígeno, silicio, aluminio y otros componentes menores. [2]

El hidrógeno es un gas incoloro, sin olor y sin toxicidad, y es extremadamente inflamable y reactivo; Es un gas noble que tiene la masa atómica más pequeña y el más ligero en contraste con el aire. Se presentan más propiedades en la Tabla 1 y Tabla 2.

Tabla 1. Propiedades físicas del hidrógeno [3]

| PROPIEDAD | VALOR |
|--|-----------------------------------|
| <i>Color</i> | <i>INCOLORO</i> |
| <i>Olor</i> | <i>INODORO</i> |
| <i>Sabor</i> | <i>INSÍPIDO</i> |
| <i>Toxicidad</i> | <i>NO TÓXICO</i> |
| <i>Peso molecular</i> | <i>2,16g/mol</i> |
| <i>Temp. De Ebullición (1 atm)</i> | <i>-252,8 °C</i> |
| <i>Temp. Crítica</i> | <i>-239,9 °C</i> |
| <i>Densidad del gas a 20° C, 1 atm</i> | <i>0,005229 lb/ft³</i> |
| <i>Densidad del líquido a 1atm</i> | <i>4,23 lb/ft³</i> |
| <i>Límite de inflamabilidad en el aire</i> | <i>4 – 75 % Vol</i> |
| <i>Límite de detonación en el aire</i> | <i>18-60 % Vol</i> |
| <i>Energía mínima de ignición en el aire</i> | <i>20μJ</i> |
| <i>Temperatura de llama en el aire</i> | <i>(20°C) 1 a 848</i> |

Tabla 2. Algunas Propiedades del Hidrógeno [2]

| ALGUNAS PROPIEDADES DEL HIDRÓGENO | | | | | | | | |
|--|---------|---------------|---|---------|----------------|---|--------------------------------------|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • Incoloro. Gas normalmente; sólido, cúbico. • Punto de fusión: $-259,1^{\circ}\text{C}$. • Punto de ebullición: $-252,7^{\circ}\text{C}$. • Temperatura crítica: $-239,8^{\circ}\text{C}$. • Densidad del líquido: $0,0709\text{ g/cm}^3$. • Densidad del gas: $0,0899\text{ Kg/m}^3$. • Solubilidad en el agua: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr> <td style="padding-right: 10px;">a 0°C: $2,1\text{ cm}^3$</td> <td rowspan="2" style="font-size: 2em; vertical-align: middle;">}</td> <td rowspan="2" style="vertical-align: middle;">en 100 partes</td> </tr> <tr> <td>a 80°C: $0,85\text{ cm}^3$</td> </tr> </table> | | | a 0°C : $2,1\text{ cm}^3$ | } | en 100 partes | a 80°C : $0,85\text{ cm}^3$ | | |
| a 0°C : $2,1\text{ cm}^3$ | } | en 100 partes | | | | | | |
| a 80°C : $0,85\text{ cm}^3$ | | | | | | | | |
| <ul style="list-style-type: none"> • Isótopos y abundancias <table style="margin-left: 20px; border: none; width: 100%;"> <tr> <td style="width: 80%;">H-1</td> <td style="text-align: right;">99,985%</td> </tr> <tr> <td>H-2 (deuterio)</td> <td style="text-align: right;">0,015%</td> </tr> <tr> <td>H-3 (radiactivo, período 12,26 años)</td> <td style="text-align: right;">-</td> </tr> </table> | | | H-1 | 99,985% | H-2 (deuterio) | 0,015% | H-3 (radiactivo, período 12,26 años) | - |
| H-1 | 99,985% | | | | | | | |
| H-2 (deuterio) | 0,015% | | | | | | | |
| H-3 (radiactivo, período 12,26 años) | - | | | | | | | |

Cabe resaltar que la Tabla 2 en última parte se habla del contenido en deuterio, que pueden ser base de la energía nuclear de fusión, pero solo se nombrara como acotación no se desarrollara en el siguiente trabajo.

2.2. Hidrógeno como Combustible

Cuando se piensa en energía con el hidrógeno, debe recordar que el hidrógeno definitivamente no es una fuente de energía primaria, sino un portador de energía como el aceite de lámpara, el carbón, el encendido, etc. Estos materiales excluyen la energía de la sustancia que contienen en los procesos de combustión.

Estos procedimientos se completan con la percepción del oxígeno que permite la liberación de energía relacionada con la reacción química de oxidación.

El hidrógeno en contraste con los combustibles convencionales demuestra que el hidrógeno solo deja un efecto secundario de su combustión en comparación con los demás, independientemente de si son vapor de agua y dióxido o monóxido de carbono respectivamente, desde este punto se dice que es un combustible limpio y no contaminante.

Una distinción esencial en el hidrógeno es que se puede obtener muy bien del agua por electrólisis utilizando la energía producida por alguna fuente primaria de energía, por ejemplo: energía solar, nuclear, etc. Una vez que se efectúa la combustión, se produce la misma cantidad de agua inicial, por lo que no afecta al medio ambiente.

2.2.1. Situación Energética Actual

El hombre desde la Revolución Industrial, ha estado haciendo mal uso de todos aquellos recursos que ha estado descubriendo para generar energía. Los recursos energéticos en el planeta son abundantes, sin embargo, las reservas primarias son escasas y variables. Con el transcurrir del tiempo algunos factores han advertido a la sociedad el impacto que estos recursos tienen en el medio ambiente, en la geopolítica actual; llevando a la utilización de reservas, en su mayor parte de derivados del petróleo y naciones en desarrollo.

Debe notarse que no es solo la utilización de fuentes de energía ordinarias las que crecen, sino también el consumo de las energías más actuales, por ejemplo, las fuentes de energía renovable. [4]

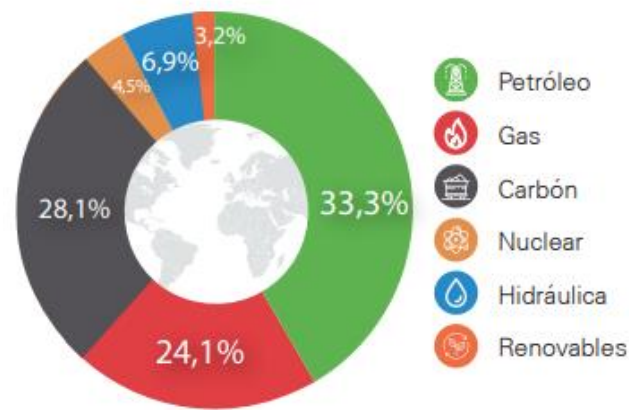


Fig. 2 Consumo de energía primaria 2016 [5]

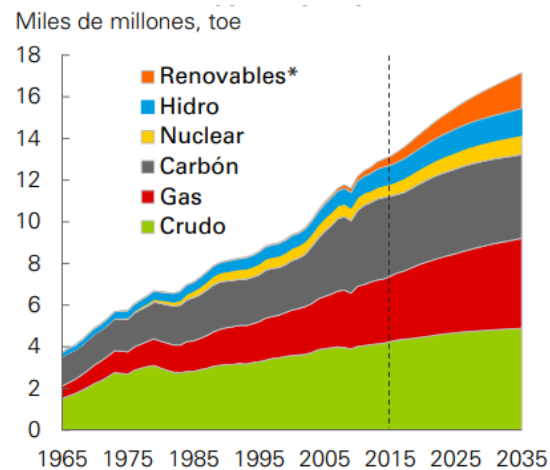


Fig. 3 Consumo de energía primaria por combustible. [6]

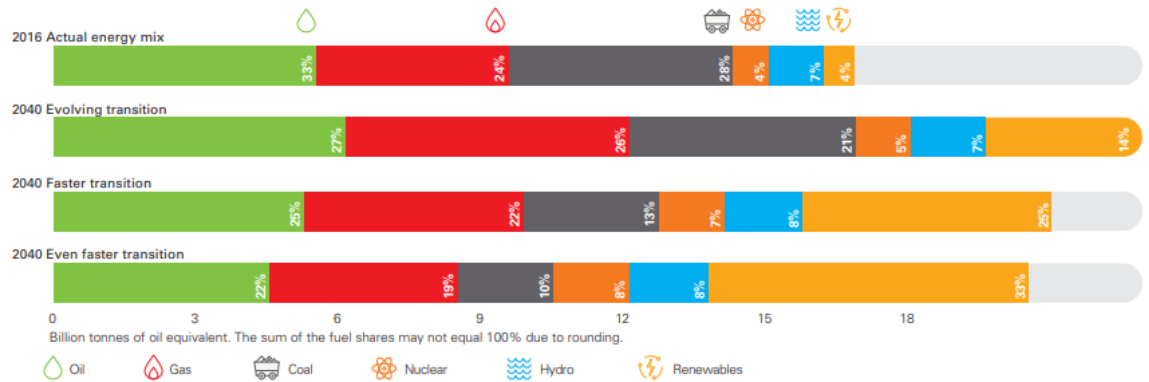


Fig. 4 Consumo de energía – 2040 Proyecciones [5]

2.2.1.1.Situación Energética en el Perú

El área de energía peruana ha demostrado un gran desarrollo debido a la expansión buscada que corre en conjunto con el avance económico de los productos y servicios que reflejaban las óptimas condiciones de un mercado competitivo en diversas actividades.

En esta década, los componentes administrativos de mecanismos de regulación monopólicos han sido perfeccionados, tal es el caso de transporte y el distribución de energía. [7]

En el período 2014-2025, se confía que el consumo de energía siga desarrollándose de acuerdo con el avance de la economía local, el incremento de la población y la extensión de la cobertura energética y las nuevas medidas de aplicación en sectores residenciales, servicios industriales y transporte.

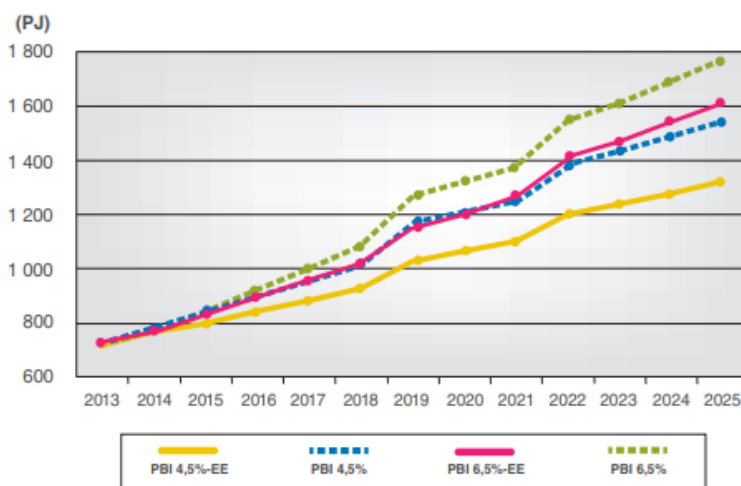


Fig. 5 Proyección del Consumo Final de energía [7]

| | 2014 | 2025 - PBI 4,5 % | 2025 - PBI 6,5 % |
|------------------------|-------------|------------------|------------------|
| Electricidad | 19% | 18% | 20% |
| Gas Natural | 13% | 35% | 35% |
| Diésel | 28% | 19% | 18% |
| GLP | 10% | 12% | 12% |
| Gasolina Motor | 8% | 4% | 4% |
| Turbo | 5% | 4% | 4% |
| Petróleo Industrial | 2% | 0% | 1% |
| Carbón Mineral & Derv. | 3% | 3% | 3% |
| Bosta & Yareta | 1% | 1% | 0% |
| Dendroenergía (*) | 11% | 4% | 3% |
| Total | 100% | 100% | 100% |

Fig. 6 Proyección del Consumo final de Energía [7]

En este último año por motivos políticos el desarrollo energético se a estancando causando miedo en la población ya que la energía que se tenía proyectada no se consume totalmente causando pérdidas por lo que el estado se proyecta vender la energía que tienen de sobra.

2.2.1.2.Eficiencia energética en el Perú

Para el período 2014-2025, se pretende promover un enfoque de productividad de energía para disminuir la dependencia externa, expandir la intensidad de la parte de energía, reducir los efectos ecológicos y mejorar el acceso a la energía.

Se confía en reducir el gasto y el costo de las actividades al disminuir el consumo final de la electricidad y el diésel a través de avances más eficientes, por ejemplo: agua a alta temperatura basada en la luz solar, estufas mejoradas que consumen leña, la sustitución de calderas y motores eléctricos por otros con mayor eficiencia.

En los próximos 10 años, la nación tendrá los Reglamento de etiquetado de eficiencia energética para artefactos electrodomésticos, calentadores de agua, iluminación, motores eléctricos y calderas; y del establecimiento de estándares mínimos de eficiencia energética para los mismos. [7]

2.3.Hidrógeno como futura opción

El hidrógeno es un elemento con gran importancia en la actualidad. Se ha utilizado durante mucho tiempo en varios procedimientos de la industria de química y petroquímica. Se utiliza en la síntesis de amoníaco, en la hidrogenación de grasas y aceites, etc. Además, debido a la energía actual que requiere, se considera como el combustible sin límites. [8]

Viendo al hidrógeno desde el punto energético, es el combustible que tiene la estima calorífica más notable por unidad de masa. Esto implica que un gramo de hidrógeno contiene más del doble de energía que un gramo de gas natural, por ejemplo. En cualquier caso, está restringido por la baja densidad por unidad de volumen.

2.3.1. Producción de Hidrógeno

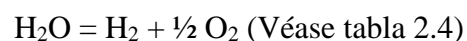
Para discutir primero la generación, debemos preguntarnos cuáles son las materias primas para adquirir hidrógeno. Claramente, el primero es el océano, en el cual el hidrógeno es 11.19% en peso y todos los seres vivos, criaturas y plantas, contienen hidrógeno. De esta manera, se puede obtener de la biomasa y de algunos resultados de origen animal, por ejemplo, el biogás. Además, está contenido en fuentes de energía no renovable, gas natural, petróleo y carbón. [2]

Las formas de generación de hidrógeno son impecables y enfocadas en los gastos, son las claves para una economía práctica y futura. Las formas de creación de hidrógeno más vitales.

2.3.1.1. Procesos térmicos

Este procedimiento utiliza la energía de varios activos, por ejemplo, gas natural, carbón o biomasa para adquirir hidrógeno, ya que es una parte de su estructura atómica. Otro tipo de proceso de calentamiento, junto con los ciclos de químicos cerrados, crea hidrógeno a partir de los materiales iniciales, por ejemplo, el agua para estos procedimientos se conoce como "termoquímico".

2.3.1.1.1. Por disociación térmica del agua



Este procedimiento es firmemente endotérmico, es decir, se absorbe calor $-120\text{MJ} / \text{kg}$ y $-141,86 \text{ MJ} / \text{kg}$ para vapor de agua y agua en estado líquido respectivamente.

Y con ayuda de las relaciones termodinámicas se puede obtener el equilibrio de las composiciones a distintas temperaturas. Se utilizan catalizadores de platino o rutenio que permiten trabajar a temperaturas por debajo de 1000°C que desplacen el equilibrio mediante el desprendimiento de hidrógeno a medida que se crea, y esto se logra mediante membranas permeables al hidrógeno o por respuesta con metales, por ejemplo, circonio. [2]

2.3.1.2. Procesos Electrolíticos

Los procedimientos electrolíticos utilizan la energía para romper la partícula de agua en hidrógeno y oxígeno, esto ocurre en un electrolizador. El hidrógeno creado por las ofertas de electrólisis asciende a las descargas de sustancias que dañan la capa de ozono cerca de cero, pero eso depende de la fuente de energía que se utilizará.

Para evaluar los beneficios de la creación de hidrógeno por medio de la electrólisis, la fuente de energía requerida, incluidos el costo y la productividad, y además la salida de sustancias que agotan el ozono cerca de cero, es la electrólisis que utiliza fuentes sostenibles de energía y alta electrólisis. [9]

En la Tabla 3 se puede encontrar los tipos de reacciones que ocurren en este proceso

2.3.1.3. Procesos por Combustibles fósiles

Esta es la estrategia moderna más utilizada para crear hidrógeno en grandes cantidades y parte de gas natural que tiene un alto contenido de metano. Transformar es un tratamiento con vapor de agua ante la vista de un catalizador. El procedimiento se ha ido antes por una expulsión del azufre contenido en el gas natural por métodos para el hidrógeno y, considerando esto, es una respuesta de esta reacción química y muy exotérmica. [2]

En la Tabla 3 se puede apreciar algunas de las reacciones que se utilizan para este tipo de procesos.

2.3.1.4. Procesos Fotolíticos

Este tipo de proceso es representado por la utilización de energía que son rayos de baja potencia para romper las partículas de agua de hidrógeno y oxígeno. En la actualidad, este procedimiento se configura como una de las fases principales de la investigación, sin embargo, debe tenerse en cuenta que las circunstancias favorables que ofrecen serán de largo alcance para una creación consistente y con un bajo efecto ecológico.

En la Tabla 3 se pueden apreciar los tipos de reacciones que integran este proceso.

Tabla 3. Producción de Hidrógeno [2]

| Producción de Hidrógeno | |
|-------------------------|---|
| 1. | $H_2O \rightarrow H_2 + 1/2 O_2$ ALTAS TEMPERATURAS CICLOS |
| 2. | $H_2O \rightarrow H^+ + OH^-$ $2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$ $2OH^- - 2e^- \rightarrow H_2O + 1/2 O_2$ ELECTROLISIS |
| 3. | $\left. \begin{array}{l} C \\ CH \\ -CH_2- \end{array} \right\} + H_2O \rightarrow CO_2 + H_2$ COMBUSTIBLES FÓSILES |
| 4. | $\left. \begin{array}{l} hv \\ \gamma \end{array} \right\} + H_2O \rightarrow H_2 + 1/2 O_2$ FOTOPROCESOS RADIACIÓN |

2.3.2. Seguridad y almacenamiento de Hidrógeno.

2.3.2.1. Seguridad

Las propiedades del hidrógeno implican que los marcos donde se guardan y transportan deben planearse de la manera más precisa posible, con el objetivo final de evadir las roturas posibles.

Sin embargo, con el objetivo final de ser transportado y contenido efectivamente bajo la ley peruana, se completará bajo la D.S. N°054-93-EM (Regulación de la seguridad de las fundaciones que ofrecen rellenos), la ley de Hidrocarburos (Ley N°. 26221).

2.3.2.2. Almacenamiento

Con respecto al almacenamiento, se basará fundamentalmente en la aplicación. Y también de los sistemas estacionarios no tienen limitaciones de volumen, superficie o peso, pero para la parte del automóvil es vital mantener el equilibrio entre el peso y el volumen del depósito.

Entre las diversas maneras para almacenar hidrógeno en cantidades considerables, son teniéndolas en fase líquida o gaseosa, conteniéndolas en cilindros a altas presiones. En la actualidad hay avances en el proceso de almacenamiento y en los materiales usados, con el inconveniente de los costos de operación y las pérdidas que pueden ocurrir con el hidrógeno por evaporización.

Tabla 4. Las seis estrategias fundamentales para el almacenamiento de hidrógeno. [10]

| Método de almacenamiento | pm (H% masa) | pV (kg/m ³) | T (°C) | P (bar) | Fenómeno y observaciones |
|---|--------------------|-------------------------|--------|-----------|---|
| Cilindros de gas a alta presión | <2 a 10 | 10 a < 40 | 25 | 130 a 800 | Gas comprimido (H ₂ molecular) en cilindros de acero o material compuesto (de resistencia a tracción 2000 Mpa) |
| Hidrógeno líquido en tanques criogénicos | Depende del tamaño | 70,8 | -252 | 1 | Hidrógeno líquido (H ₂ molecular), pérdida continua de pocos % de hidrógeno a T.amb. |
| Hidrógeno Absorbido | ≈2 | 20 | -80 | 100 | Fisorción (H ₂ molecular) sobre materiales de gran área específica (carbón), totalmente reversible |
| Absorbido en sitios intersticiales de un metal (Hidruro metálico) | ≈2 | 150 | 25 | 1 | Hidrógeno (H atómico) intercalado en metal anfitrión, los hidruros metálicos trabajando a Tamb. Son totalmente reversibles. |
| Compuestos complejos | <18 | 150 | >100 | 1 | Compuestos complejos, Desorción a temperatura elevada, absorción a altas presiones |
| Metales y complejos junto con agua | <40 | 150 | 25 | 1 | Oxidación química de metales con agua y liberación de hidrógeno, no directamente reversible |

2.4. Hidrógeno en comparación con otros combustibles.

El hidrógeno en contraste con los combustibles convencionales es todo menos un combustible esencial, independientemente de que sea un portador de energía, ya que la energía almacenada se puede obtener a través de procesos combustión. Estos procedimientos comprenden respuestas a la vista del oxígeno que se percibe a su alrededor, y pasan a un estado oxidado, descargando energía relacionada con la reacción química de oxidación. [10]

Teniendo en cuenta las ventajas y la superioridad que tiene ante otros gases como el propano, metano y la gasolina. Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de combustibles [11]

| Propiedad | Hidrógeno (H ₂) | Metano (CH ₄) | Propano (C ₃ H ₆) | Gasolina (-CH ₂ -) |
|---|-----------------------------|---------------------------|--|-------------------------------|
| Poder calorífico (MJ/kg) | 120 | 50 | 46,3 | 44,5 |
| Temperatura de auto ignición (°C) | 585 | 540 | 487 | 228-501 |
| Temperatura adiabática de la llama en aire (°C) | 2,045 | 1,875 | 1,925 | 2,197 |
| Límites de ignición en aire (% en vol.) | 4-75 | 5,3-15 | 2,1-10 | 1,0-7,6 |
| Propagación de la llama en aire (m/s) | 2,65 | 0,4 | - | 0,4 |
| Coefficiente de difusión en aire (cm ² /s) | 0,61 | 0,18 | - | 0,05 |
| Toxicidad | NO | NO | - | Alta a conc>500ppm |
| ΔV en la reacción con oxígeno | Negativo | Negativo | | Positivo |

La diferencia más resaltante del hidrógeno con los combustibles tradicionales y derivados de petróleo, es el subproducto que se genera luego de la combustión, ya que el hidrógeno genera vapor de agua mientras que los otros combustibles producen CO₂ y CO que son los principales contaminantes. También es necesario considerar que el hidrógeno no es contaminante, tóxico, cancerígeno, no es auto inflamable, no contiene radiación, se disipa rápidamente, es más liviano que el aire, y contiene de energía equivalente a 0,34L de petróleo por m³. [3]

Otra manera de comparar el hidrógeno con otros combustibles es mediante la densidad de energía por peso y la densidad de energía por volumen, siendo la primera mucho mayor que los demás combustibles en cambio con respecto al volumen en mucho menor por lo que genera tener grandes volúmenes de almacenamiento para así poder generar la misma energía con respecto a las otras. Estas comparaciones serán detalladas en la Fig.7.

| Combustible | Forma de almacenamiento | Densidad de energía por peso (kWh/kg) | Densidad de energía por volumen (kWh/l) |
|-------------|-------------------------|---------------------------------------|---|
| Hidrógeno | Gas (20MPa) | 33.3 | 0.53 |
| | Gas (25MPa) | 33.3 | 0.64 |
| | Gas (30MPa) | 33.3 | 0.75 |
| | Líquido (-253°C) | 33.3 | 36 |
| | Metal hidruro | 0.59 | 3.18 |
| Gas Natural | Gas (20MPa) | 13.9 | 58 |
| | Gas (20MPa) | 13.9 | 3.01 |
| | Gas (20MPa) | 13.9 | 3.38 |
| | Líquido (-162°C) | 13.9 | 5.8 |
| Propano | Líquido | 19 | 7.5 |
| Metanol | Líquido | 5.6 | 4.42 |
| Gasolina | Líquido | 17 | 8.76 |
| Diesel | Líquido | 11.6 | 9.7 |

Fig. 7 Densidad de energía del hidrógeno y otros combustibles [12]

2.5. La celda de Combustible a través del tiempo

La celda de combustible no es una creación de vanguardia, fue descubierta por Sir William Grove en 1839, aunque el investigador suizo Christian F. Sönbein también había representado de manera autónoma un impacto similar durante todo el año o incluso un año antes. [13].

En 1900, Nernst derivó la ley de la termodinámica que prevalecía en las cédulas de combustible y, por lo tanto, fue el principal constructor de estos óxidos sólidos o cerámica.

Otro investigador inglés, Francis T. Bacon, quien retomó los trabajos de estos aparatos en 1937, construyó una pila de 6kW hacia el final de 1950.

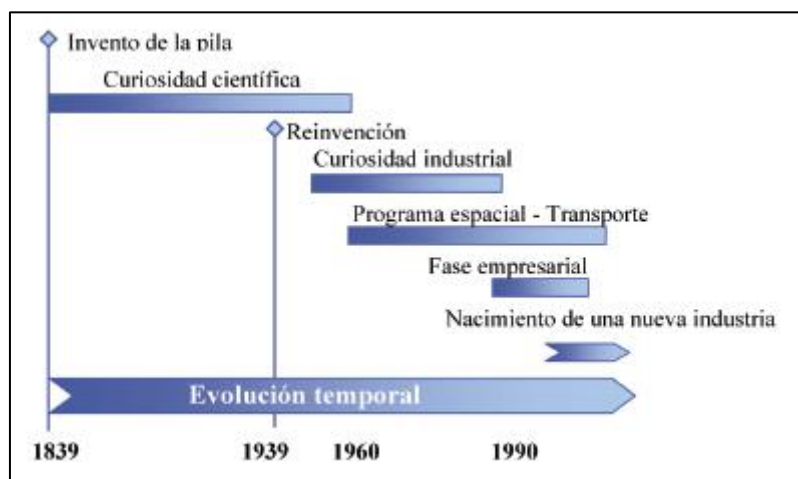


Fig. 8 Plan de avance del componente energético [14]

El principal uso viable de los componentes energéticos estaba en el programa espacial de los Estados Unidos. Con este fin, General Electric construyó una pila controlada por hidrógeno que utilizó en el Programa Gemini a mediados de la década de 1960 y fue seguida por el Programa Espacial de Apolo, que

utilizó pilas de combustible para producir energía utilizada diariamente en redes de comunicación. [14].

En 1990, las pilas pasaron por alto en aplicaciones terrestres, sin embargo, a pesar de ser utilizadas para misiones espaciales, y desde este momento se probaron en transportes, submarinos, que luego se abandonaron.

Hoy las naciones más creadas incluyendo EE. UU, Japón, Canadá y la Unión Europea, instan a crear aplicaciones para estas innovaciones. Esa es la razón por la que hoy se ha desarrollado otra industria, a la luz de una nueva revolución energética. [14] Y esto se demuestra por la intriga y el interés de la comunidad científica e ingenieril de todo el mundo en su desarrollo.

III. MARCO TEÓRICO

3.1.Celda de Combustible

Una pila de combustible, es un dispositivo electroquímico adecuado para cambiar la energía química en electricidad y calor, con alta productividad y menor descarga de toxinas.

Los módulos de potencia son sistemas de cambio de energía, ya que entregan energía de manera proporcional combustible suministrado, lo que tiene efectos diversos en los sistemas de almacenamiento energía eléctrica como las pilas. La estructura física fundamental de una pila de combustible comprende una celda electroquímica enmarcada por un ánodo, un cátodo, un electrolito y una membrana. [15]

Los reactivos utilizados en una célula son hidrógeno en el lado del ánodo y oxígeno en el lado del cátodo. En cambio, las pilas gastan fuertes reactivos y, una vez agotadas, deben desecharse o recargar con electricidad.



Fig. 9 Fuentes de datos y rendimientos de una pila de combustible de hidrógeno [16]

3.2.Tipos de Celdas

Los componentes de las celdas se encuentran en un proceso de cambio y mejora, y se agrupan según sus diferentes cualidades y, mientras tanto, con sus propiedades, tenemos:

- ❖ Según el tipo de uso
- ❖ Según la temperatura de operación
- ❖ Según su potencia ya sea alta, baja o media
- ❖ Según la combinación de combustible y oxidante
- ❖ Según el electrolito usado.

Como se acaba de mencionar, hay tipos diversas celdas y están agrupadas por el tipo de electrolito utilizado, y debe considerarse que estas cualidades dan las condiciones importantes para utilizarlas en diferentes circunstancias. Según lo indicado por el tipo de electrolito, hay cinco tipos de unidades de energía. (Ver Tabla 6)

Tabla 6. Tipos de celdas de combustible [17]

| Tipo de celda y tipo de electrolito usado | Abreviatura | Electrolito empleado | Vapor aproximado de temperatura de operación |
|--|-------------|-----------------------------------|--|
| Celda de Combustible de electrolito polimérico | PEMFC | Membrana de intercambio protónico | 50° C -80° C |
| Celda de combustible tipo alcalina | AFC | Hidróxido de potasio | 250°C |
| Celda de combustible de ácido fosfórico | PAFC | Ácido fosfórico | 220° C |
| Celda de combustible de carbonato fundido | MCFC | Carbonado fundido (liquido) | 650°C |
| Celda de combustible de óxido solido | SOFC | Cerámico | 800°C-1000°C |

3.2.1. Celdas Alcalinas (AFC)

Han sido utilizados durante bastante tiempo por la NASA en misiones espaciales, este tipo de célula tiene una capacidad del 70% en generación de energía eléctrica. Estas celdas utilizan hidróxido de potasio como electrolito y, hasta este punto, eran excesivamente costosas para las aplicaciones de negocios, sin embargo, algunas organizaciones están descubriendo enfoques para disminuir estos gastos y mejorar la adaptabilidad en su tarea. [18] Estas celdas tienen una característica desfavorable que es intolerante a la presencia de CO₂, ya sea en el combustible o en el oxidante.

3.2.2. Membrana de Polímero Electrolítico o membrana de intercambio de Protones (PEM)

Este tipo de celdas utilizan una membrana delgada conductora de protones como electrolito. El catalizador empleado mayormente es platino puesto en carbón, o si se alimenta con hidrógeno cargado de monóxido de carbono (CO). Estos tipos de celdas son un importante candidato para ser empleadas en automóviles, pero también para pequeñas plantas de energía.

3.2.3. Celdas de Ácido Fosfórico (PAFC)

Este tipo de célula utiliza ácido fosfórico como un electrolito. La matriz se utiliza para mantener el ácido que es SiC (silicio-carbono), y el catalizador es platino. En la actualidad, estas celdas son semi-económicamente accesibles para la utilización de la era de energía estacionaria.

3.2.4. Celdas de carbón derretido (MCFC)

El electrolito utilizado es una mezcla de carbonatos alcalinos que incluyen Li, Na, K o, en otras palabras, una matriz de cerámica LiAlO_2 . Este tipo de célula funciona a altas temperaturas en algún lugar en el rango de 600 y 700 grados centígrados. Uno de los detrimentos de este tipo de celdas es la corrosividad de las sales fundidas y el requerimiento de reposición de CO_2 en el cátodo para la recuperación y el desarrollo de partículas de carbonato. [18]

3.2.5. Celdas de Oxido Solido (SOFC)

Otro componente de energía profundamente alentador debido a sus bajos gastos de montaje y su capacidad para trabajar con gastos específicos (básicamente en pequeñas unidades) es el componente de energía de óxido fuerte, que podría utilizarse en aplicaciones de energía, incluidas las estaciones de gran escala y energía eléctrica industrial. [18]

Una vez mencionadas los distintos tipos de celdas existentes se ha realizado un cuadro comparativo entre las ventajas y desventajas presentes en cada uno.

Tabla 7. Ventajas y desventajas de los tipos de celdas. [19]

| TIPO DE CELDA | VENTAJAS | DESVENTAJAS |
|---------------|--|--|
| AFC | -Alto Rendimiento. -Buenas aplicaciones para el espacio | -Electrolitos reaccionan con CO ₂ |
| PEM | -Elevada densidad de corriente. - Poco peso, costo y tamaño | - Eficacia relativamente baja |
| PAFC | -Seguras, relativamente eficientes. | - Eliminación de azufre de los gases de alimentación. -Gran tamaño, pesadas y coste de inversión. |
| MCFC | -Silenciosas y altamente eficientes. -Ideales para cogeneración | -De gran tamaño. -Temperaturas de funcionamiento muy elevadas. -Inversión elevada. |
| SOFC | - Altamente eficientes. -Uso en cogeneración. | -Tamaño grande. -Usos a gran escala. -Temperaturas de funcionamiento muy elevadas |

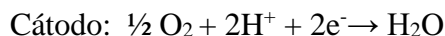
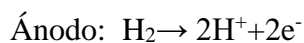
Teniendo en cuenta estos parámetros se opta por elegir la celda tipo PEM para el proyecto por su elevada densidad de corriente en comparación a los otros modelos y también por el poco peso de estas y para fabricarlas es de pequeño tamaño y costo.

3.3. Pila de combustible de membrana de intercambio de protones

Esta pila utiliza una capa de intercambio de protones como electrolito, este electrolito está hecho de un polímero, por lo que de otra manera se llama membrana de polímero, está hecho de ácido sulfónico fluorado, denominado financieramente como Nafion.

El líquido presente en la celda es el agua, lo que hace que los problemas de erosión sean mínimos. Sea como sea, el mantenimiento del nivel de agua dentro de la pila es crítico, ya que ofrece un funcionamiento correcto. La posibilidad de que el agua que se forma por las respuestas que se producen desaparezca rápidamente hace que la membrana se seque y el funcionamiento empeora drásticamente.

Las reacciones en los electrodos son:



Estas pilas utilizan hidrógeno como combustible y oxígeno como oxidante donde el dióxido de carbono no presenta un peligro perjudicial para la capa utilizada. Puede utilizar el aire para reforzar el cátodo y el combustible transformado para nutrir el ánodo. Con la necesidad de mantener la membrana constantemente húmeda, la temperatura de trabajo más extrema debe ser de 120°C, siendo su temperatura típica de 80°C. Tener estas temperaturas de trabajo hace que las sustancias catalizadoras sean mucho mayores, ya que el procedimiento es lento. Esto implica que el contenido de monóxido de carbono en el combustible tenga que ser nulo ya que las temperaturas son bajas el monóxido actúa como veneno para el catalizador. [17]

3.4. Detalle de una pila combustible

El principal instrumento de operación de una pila de combustible es la respuesta inversa al hidrólisis: la oxidación catalítica del hidrógeno en el ánodo y la disminución de oxígeno en el cátodo hacen una distinción de potencia entre los terminales. Esta variación se puede utilizar a través de un circuito externo si se coloca un electrolito aislante entre el ánodo y el cátodo, lo que permite el intercambio de partículas, y en este sentido, la transferencia de carga. [16]

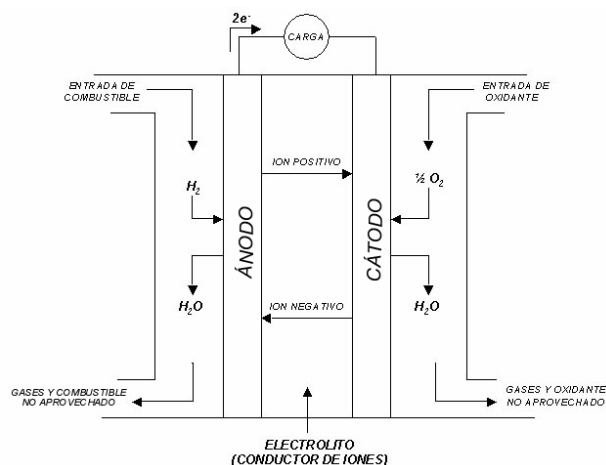
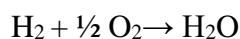


Fig. 10 Esquema de la actividad fundamental de un dispositivo de potencia [20]

Las pilas de combustible tienen una alta capacidad para disminuir las emisiones y vapor de agua identificados con el procedimiento de producción de electricidad. El mayor rendimiento disminuye la medida del vapor de agua, mientras que las salidas de dióxido de carbono y óxidos de nitrógeno son cero. Es importante destacar que la respuesta total agregada al ánodo y cátodo es equivalente para todos los tipos de pila.



Extensivamente, una pila se compone de varias celdas individuales asociadas eléctricamente en formación unas con otras. En estas celdas es donde se genera el flujo de electrones, y su número agregado se basará en el voltaje total que se desee proporcionar. [16]

Las celdas cuentan con dos placas bipolares, cada una a un extremo de la otra, a través de las cuales entran los gases reactivos, y a través de los cuales se vacían los productos de la reacción y los reactivos no utilizados. Desde cada placa hacia el interior, se encuentran el ánodo y el cátodo.

Cada electrodo tiene una capa con un componente de catalizador en el que los átomos de hidrógeno se descomponen y se convierten en protones y electrones. Del mismo modo, la conectividad eléctrica entre las celdas ocurre y, en medio de los electrodos, se encuentra la membrana semipermeable, que funciona como un medio conductor de iones.

La agrupación de todas las celdas con el objetivo final de proporcionar un voltaje adecuadamente expansivo, según lo indiquen las necesidades de cada aplicación, se denomina “stack”. [16]

3.5.Elemento de una pila PEM

Una pila de combustible está formada por varios componentes, que deben diseñarse y mejorarse para que funcione con su mayor eficiencia y favorezca el avance en el desarrollo de fenómenos físicos y químicos. (Ver Fig. 11)

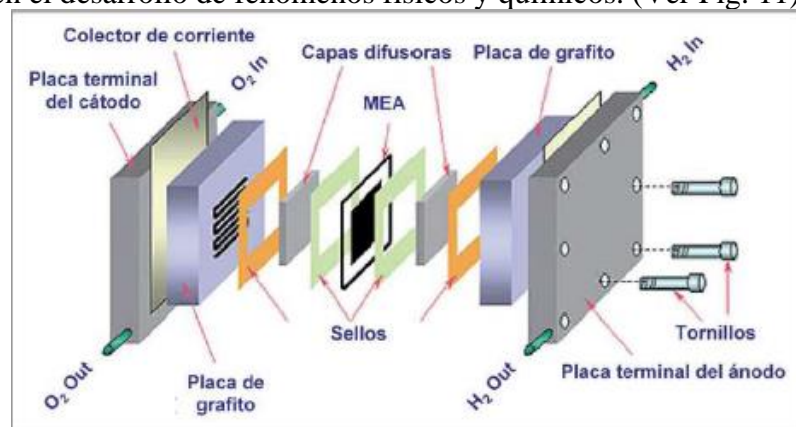


Fig. 11 Segmentos que componen una celda mono de una pila de composición [16]

3.5.1. Electrolito (MEA)

El electrolito de esta pila en particular es de naturaleza polimérica, ya que es una membrana sólida hecha de un polímero: politetrafluoroetileno sulfonado (PTFE). Se describen por tener un alto nivel de conducción de protones a través de ellos, son impermeables a los gases y protectores eléctricos, sin embargo, no todas estas características se cumplen completamente, por lo que se convierten en los principales motivos de pérdidas de voltaje.

3.5.2. Capas Catalíticas

Es el electrodo que se ubica entre la membrana y las capas difusoras, tanto en el ánodo como en el cátodo. Están formados por un material carbonoso profundamente permeable en el que se mantienen las partículas del catalizador que se transportan, en estos focos activos es el lugar donde ocurren las reacciones electroquímicas, que en la medida en que hay más puntos de contacto, más será la cantidad de reacciones que se producirán. De las respuestas que sucederán, siendo el voltaje efectivo obtenido también será mayor.

El soporte carbonoso debe contener una mínima resistencia al paso eléctrico, una alta porosidad, estabilidad química y mecánica. Por otro lado, el catalizado debe tener un número elevado de centros activos bien distribuidos y de pequeñas partículas, así como una alta actividad intrínseca de los sitios activos para que sea capaz de superar las distintas sobre potencias que se obtienen de la reacción.

3.5.3. Capas Difusoras

Estas sirven como soporte mecánico para los electrodos. Están hechos de buenos materiales porosos para la conducción de energía, por lo que los gases se diseminan uniformemente sobre las capas catalíticas de modo que existe una asociación eléctrica entre las capas mencionadas anteriormente y las placas bipolares. Los parámetros principales que representan los materiales con los que se fabrican las capas difusoras son la porosidad, la compresibilidad y la conducción eléctrica y térmica. [21]

3.5.4. Placas Bipolares, mono-polares, colectores de corriente y terminales

- Placas bipolares y mono-polares.

Son aquellos que dan forma a la celda y están situados entre las placas terminales. Las placas bipolares tienen la distinción con los mono-polares en que tienen celdas en los dos lados mientras que las otras solo tienen una en un lado, mientras que está en contacto con el colector de corriente de una de las placas terminales.

- Colectores de corriente

Su función es cerrar el circuito eléctrico de la pila y permitir la asociación con la aplicación externa que solicita energía eléctrica. Por lo general estos colectores están hechos de un material que le permite ser un buen conductor, como el cobre, pero también puede ser cualquier otro metal recubierto con oro.

- Placas terminales

Las placas terminales tienen la obligación de cerrar y mantener la pila hermética, por lo que su diseño debe enfocarse para permitir un ajuste homogéneo de todos los componentes internos. Un cierre mal realizado provocaría fugas al exterior de los gases reactivos que propiciarían las resistencias de contacto y lo más crítico, disminuyendo la eficiencia general de la pila.

- Sellos y juntas

Los sellos y juntas, como su mismo nombre lo dicen forman parte del sellado de las pilas. Se encargan de evitar las fugas de gas fuera de la celda o la mezcla de gases que comienza de una cara a otra de una misma celda. Estos sellos y juntas pueden ser segmentos individuales o componentes integrados en el propio electrodo.

3.6. Ventajas y desventajas de las celdas de combustible

- **Alta eficiencia:** Rendimiento eléctrico en torno al 37%. En los casos en las que se utiliza el calor producido, los rendimientos globales se alcanzan [16]
- **Modularidad:** La intensidad de los módulos de potencia aumenta directamente con la extensión de la pila, incluidas las nuevas unidades y su acoplamiento eléctrico. Al tener esta adaptabilidad de tamaño y costo autónomos de la escala, no se requieren grandes inversiones iniciales. [16]
- **Mínimo nivel de contaminación:** La reacción principal que ocurre dentro de la pila no es contaminante, ya que su producto es agua. Los niveles de NOx que se entregan se originaron en el quemador interno necesario para la reacción de reformado. Actualmente en los equipos en funcionamiento se encuentran niveles inferiores a 3 ppm. En medio del manejo del combustible en las pilas, se crea CO₂, un gas que en la atmósfera produce en gran medida el efecto invernadero. Sin embargo, este tipo de equipos es más efectivo que los habituales, los niveles creados a partir de este compuesto por unidad de trabajo entregado serán más bajos. [16]
- **Bajo mantenimiento:** Los dispositivos están diseñados para funcionar con un bajo mantenimiento. El hecho de que no tengan partes móviles, por tanto, sometidas a desgaste, hace

que la mayor limitante de su vida útil, en el actual estado de investigación, sea el envenenamiento de sus catalizadores. [16]

- **Facilidad de instalación:** No se requieren grandes obras, ni infraestructuras complejas para poner en funcionamiento, por lo que los costos de instalación disminuyen. [16]
- **Gran versatilidad:** Las diferentes pilas de combustible abarcan aplicaciones en muy diversos campos, desde producción masiva de electricidad o generación descentralizada de la misma, a uso para pequeños equipos portátiles y automoción. [16]

IV. EVALUACIÓN DE MAQUINARIAS PARA DETERMINAR LAS EMISIONES DE CO₂

Teniendo en cuenta las maquinarias empleadas (Véase Tabla 7.) en la mina con respecto al seguimiento que se ha llevado se obtiene la cantidad de combustible diésel que se consume anualmente siendo un total de 71040 galones americanos que son equivalentes a 268915.5264 litros de este.

Tabla 8. Equipos dentro de la mina

| EQUIPO | CANTIDAD EQUIPOS | DE | USO DE LOS EQUIPOS |
|-------------------|------------------|----|--------------------|
| CAMION VOLQUETE | 2 | | DIARIO |
| PLANTA CHANCADORA | 1 | | DIARIO |
| CARGADOR FRONTAL | 2 | | DIARIO |

Tabla 9. Consumo semanal ALTO PIURA

| CONSUMO SEMANAL ALTO PIURA | | | | | | | | |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----------------------|
| Día | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Total (gls. semanal) |
| Galones | 141 | 141 | 180 | 257 | 211 | 27 | 311 | |
| | | 26 | | | | 180 | | |
| TOTAL | 141 | 167 | 180 | 257 | 211 | 213 | 311 | 1480 |

Con este dato obtenido podemos tener una proyección de consumo de combustible en un mes y el consumo en todo un año medido en galones y convertidos a litros.

Tabla 10. Consumo anual

| | |
|--------------------------|-------------|
| <i>Galones mensuales</i> | 5920 |
| <i>Galones anuales</i> | 71040 |
| <i>Litros anuales</i> | 268915.5264 |

Como se aprecia en la Tabla 9 obtenemos el consumo de diésel en un año que permite calcular la huella de carbono que genera este consumo.

Teniendo en cuenta el factor de conversión [22] para saber la cantidad de emisiones producidas anualmente.

| COMBUSTIBLE | FACTOR DE EMISIÓN ⁷ |
|----------------------------------|---|
| Gas natural (m ³) | 2,15 kg CO ₂ /Nm ³ de gas natural |
| Gas butano (kg) | 2,96 kg CO ₂ /kg de gas butano |
| Gas butano (número de bombonas) | 37,06 kg CO ₂ /bombona (considerando 1 bombona de 12,5 kg) |
| Gas propano (kg) | 2,94 kg CO ₂ /kg de gas propano |
| Gas propano (número de bombonas) | 102,84 kg CO ₂ /bombona (considerando 1 bombona de 35 kg) |
| Gasoil (litros) | 2,79 kg CO ₂ /l de gasoil ⁸ |
| Fuel (kg) | 3,05 kg CO ₂ /kg de fuel |
| GLP genérico (kg) | 2,96 kg CO ₂ /kg de GLP genérico |
| Carbón nacional (kg) | 2,30 kg CO ₂ /kg de carbón nacional |
| Carbón de importación (kg) | 2,53 kg CO ₂ /kg de carbón de importación |
| Coque de petróleo (kg) | 3,19 kg CO ₂ /kg de coque de petróleo |

Fig. 12 Tabla del Factor de emisión [22]

Con el factor de emisión de la Fig. 12 Y la Tabla 9. Obtenemos la cantidad de emisiones de CO₂ que se producen en un año.

$$E \left[\frac{kg CO_2}{año} \right] = \text{Litros anuales} * \text{Factor de emisión} \dots \text{Ecuación 1}$$

$$E \left[\frac{kg CO_2}{año} \right] = 268915,5364 \frac{l}{año} * 2,79 \frac{kg CO_2}{l}$$

$$E \left[\frac{kg CO_2}{año} \right] = 750274,3187 \frac{kg CO_2}{año}$$

$$E = 750274,3187 \frac{kg CO_2}{año} = 750,274 \frac{tonCO_2}{año}$$

Con el resultado obtenido de la ecuación 1 determinamos que la cantidad de emisiones producidas en un año de trabajos, comparado este resultado con el límite permisibles de 4 toneladas por persona al año [23].

Teniendo en cuenta que en la zona minera trabajan en todo el transcurso del año 195 personas podemos obtener las toneladas de CO₂ del personal producido con respecto al límite ya mencionado con anterioridad.

$$CO_{2(toneladas)} = \text{Limite permisible OMS} \times N^{\circ} \text{ de trabajadores} \dots \text{Ecuación 2}$$

$$CO_{2(toneladas)} = 4 \text{ ton} \times 195$$

$$CO_{2(toneladas)} = 780 \text{ ton } CO_2$$

Con la ec.2 se llega a determinar que la cantidad de emisiones producidas anualmente en la mina se encuentran bajo el límite con respecto a la organización mundial de la salud, llegando a la síntesis que a pesar que no sobrepase el estándar está muy próximo provocando que la calidad de vida de los trabajadores disminuya de manera considerable.

V. BALANCE DE ENERGÍA PARA CALCULAR LA MATERIA PRIMA NECESARIA

Para llegar a tener la cantidad de materia prima que se necesitará para impulsar todas las maquinarias pesadas y vehículos que cumplen labores en la mina, es necesario saber la potencia y las horas de trabajo de estas.

El tiempo de operación tomando el tiempo en el que trabajan diariamente establecidos (Véanse anexos). Podemos hallar un promedio de las horas trabajadas durante un día.

- En fig. 30 se especifica que el tiempo de trabajo es desde las 6 am hasta las 10:25am siendo este el día 1. En este día se operó 4h 25min.
- En la fig. 31 y 32 se especifica que el tiempo de trabajo es desde las 6am hasta las 8:00 am siendo este el día 2. En este día se operó 2h.
- En la fig. 33 y 34 al igual que el anexo 2 y 3 se trabajaba en el mismo horario. Al igual que el anterior punto solo se operó 2h.
- En la fig. 35 y 36 se especifica que el tiempo de trabajo es desde las 6 pm hasta las 7:40 pm siendo este el día 4. En este día se operó 1h 40min.
- En la fig. 37 y 38 se especifica que el tiempo de trabajo es desde las 6 am hasta las 9:32 am siendo este el día 5. En este día se operó 3h 32min.
- En la fig. 40 se especifica que el tiempo de trabajo es desde las 6 pm hasta las 9 pm siendo este el día 6. En este día se operó 3h.
- En la fig. 41 se especifica que el tiempo de trabajos es desde las 6 am hasta la 1:16 pm siendo este el día 7. En este día se operó 5h 16 min.

Los valores obtenidos de los anexos nos brindan el tiempo de operación durante una semana respectivamente, esto brindará un tiempo promedio de operación de los vehículos.

$$\textit{T tiempo promedio} = \frac{\sum \textit{ tiempo trabajado en cada día}}{7} \dots \textit{ Ecuación 3}$$

$$T_p = \frac{4h \ 25min + 2h + 2h + 1h \ 40min + 3h \ 32min + 3h + 5h \ 16min}{7}$$

$$T_p = \frac{4h \ 25min + 2h + 2h + 1h \ 40min + 3h \ 32min + 3h + 5h \ 16min}{7}$$

$$\textit{T tiempo promedio} = \frac{21 \ h \ 7 \ min}{7}$$

$$\textit{T tiempo promedio} = \frac{1267 \ min}{7}$$

$$\textit{T tiempo promedio} = 181 \ min = 3h \ 1min \approx 3h$$

La potencia de los vehículos utilizados y su tiempo de operación serán descritos en la Tabla 10.

Tabla 11. Modelo y potencia de las maquinarias utilizadas.

| VEHICULO | MODELO | POTENCIA (kW) | TIEMPO DE OPERACIÓN DE UN DIA PROMEDIO (h) |
|-------------------|-----------------|---------------|--|
| Camión Volquete | Volvo NL10 [24] | 309 [24] | 3h |
| Cargador Frontal | 420F2 [25] | 110 [25] | |
| Planta chancadora | NW80 [26] | 75 [26] | |

Teniendo en cuenta la potencia del motor y el tiempo de trabajo de cada uno de los vehículos empleados en la zona minera podemos obtener el volumen en litros necesario para generar la energía de la celda de combustible que reemplazará al motor y al combustible fósil. Para poder hallar estos valores utilizamos la densidad energética volumétrica del contenedor [27], detallada en la Fig. 13.

| | Densidad energética volumétrica teórica [kwh/l] | Densidad energética volumétrica del contenedor [kWh/l] | Fración másica útil de hidrógeno [%] | Proyección de la fracción másica útil de hidrógeno [%] |
|--|---|--|--------------------------------------|--|
| H ₂ líquido (1 bar; 20 k) | 2,4 | 1,2 | 6 | 12 |
| H ₂ comprimido (700 bar; 300 k) | 1,3 | 1,1 | 4 | 9 |
| Carbón activado (100 bar; 300 k) | 0,6 | 0,2 | 1 | 2 |
| Carbón activado (100 bar; 77 k) | 1,9 | 0,5 | 4 | 6 |
| Hidruros metálicos intersticiales (AB ₂ , AB ₃) | 4,2 | 1,8 | 1,5 | 2 |
| Hidruros metálicos complejos | 4,2 | 0,7 | 5 | 7 |
| Hidruros químicos (NABH ₄) | 3,7 | 1,4 | 6 | 9 |

Fig. 13 Tabla de eficiencias volumétricas y de masa de diversos avances de almacenamiento de hidrógeno [27]

En el caso del almacenamiento del hidrogeno se consideró los diversos tipos que actualmente se utilizan que son los siguientes:

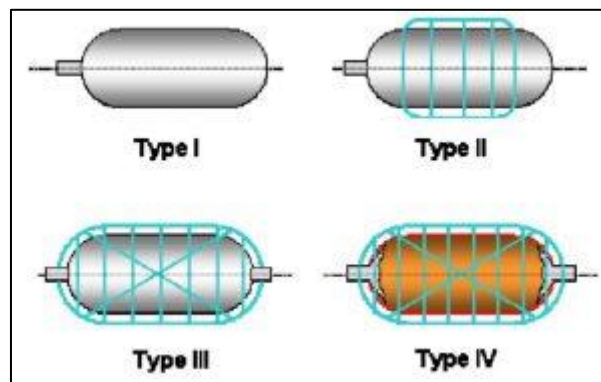


Fig. 14 Tipos de depósitos para almacenamiento de hidrogeno [28]

- Tipo I

Son depósitos sin costuras que son fabricados con acero o aluminio, los cuales pueden operar presiones menores a 175 bar y 200 bar respectivamente.

La desventaja de este tipo de almacenamiento es que resultan muy pesados y tiene paredes muy gruesas lo que provoca una pequeña capacidad gravimétrica lo que da a entender que una vez llenado con hidrogeno solo servirán para aplicaciones específicas y estacionarias por ejemplo en laboratorios. [28]

- Tipo II

Son tanques metálicos de acero o aluminio sin costuras y reforzadas con fibra de carbono o vidrio en la dirección del aro en la sección cilíndrica del depósito. Estos tanques han soportado presiones de 700 a 1000 bar pero al igual que los de tipo I son muy pesados los que los hace inservibles para el uso en automoción, mayormente este tipo de tanques se usan como depósitos de alta presión en las hidrogenaras. [28]

- Tipo III

Este tipo consta de un forro metálico interno con o sin costuras con la finalidad de evitar fugas de hidrogeno por difusión, y todo cubierto por un material compuesto en distintas direcciones, siendo el forro metálico es normalmente aluminio y los más resistentes son aquellos que usan fibra de carbono que soportan hasta 700 bar y en comparación a los dos tipos anteriores estos depósitos son mucho más livianos ya que se eliminan las paredes gruesas. [28]

- Tipo IV

El almacenaje será a través de cilindros que consta de un forro interno de material plástico, generalmente polietileno de alta densidad, para evitar la difusión del hidrógeno, reforzado mediante fibras de carbono en distintas direcciones que recubren todo el forro de plástico. Es este material compuesto el que soporta en este caso todas las cargas estructurales. En la parte más externa puede contar con un recubrimiento de fibra de vidrio a fin de proteger la superficie externa. Estos tanques mantienen las válvulas metálicas para poder llevar a cabo la recarga del depósito y el suministro de hidrógeno. En cuanto a la presión máxima que son capaces de soportar esta se encuentra en torno a unos 700 bar el cual cumple la condición para brindar a la celda el hidrogeno necesario. [28]

Siendo este tipo de tanques utilizados mayormente en vehículos, el cual cumple la condición para la cual esta empleada la celda, además este tanque facilita la embarcabilidad de este tipo de combustible ya sea de manera terrestre, aéreos y submarino.

5.1. Consumo de hidrógeno según vehículo.

Empleando la densidad energética volumétrica del contener con valor 1,2 detallada en la Fig. 13 y con los valores ya obtenidos de la Tabla 10, pasamos a calcular la cantidad correspondiente en litros de cada una de las maquinarias.

- Camión Volquete

Siendo:

- Potencia = P = 309 kW
- Tiempo Promedio = T = 3h
- Densidad energética volumétrica del contenedor= D = 1,2 kWh/l
- Volumen = V

$$V = \frac{P \times T}{D} \dots \text{Ecuación 4}$$

$$V = \frac{309 \text{ kW} \times 3 \text{ h}}{1,2 \text{ kWh/l}}$$

$$V = 772,5 \text{ l}$$

- Cargador Frontal

Siendo:

- Potencia = P = 110 kW
- Tiempo Promedio = T = 3h
- Densidad energética volumétrica del contenedor= D = 1,2 kWh/l
- Volumen = V

$$V = \frac{P \times T}{D}$$

$$V = \frac{110 \text{ kW} \times 3 \text{ h}}{1,2 \text{ kWh/l}}$$

$$V = 275 \text{ l}$$

- Planta chancadora

Siendo:

- Potencia = $P = 75 \text{ kW}$
- Tiempo Promedio = $T = 3 \text{ h}$
- Densidad energética volumétrica del contenedor = $D = 1,2 \text{ kWh/l}$
- Volumen = V

$$V = \frac{P \times T}{D}$$

$$V = \frac{75 \text{ kW} \times 3 \text{ h}}{1,2 \text{ kWh/l}}$$

$$V = 187,5 \text{ l}$$

Conociendo la cantidad de litros que consumen por semana cada maquinaria y de la cantidad de estos se puede hallar la cantidad de litros de hidrógeno que se necesitará en todo un año.

Teniendo en cuenta que:

- Camión Volquete = CV
- Planta Chancadora = PC
- Cargador Frontal = CF
- Cantidad de Equipos = E
- Volumen semanal de cada vehículo = V

$$\text{Volumen semanal total} = CV + PC + CF \dots \text{Ecuación 5}$$

$$\text{Volumen semanal total (l)} = E \times V + E_1 \times V_1 + E_2 \times V_2$$

$$\text{Volumen semanal total (l)} = 2 \times 772,5 + 1 \times 187,5 + 2 \times 275$$

$$\text{Volumen semanal total (l)} = 2 \times 772,5 + 1 \times 187,5 + 2 \times 275$$

$$\text{Volumen semanal total (l)} = 2282,5 \text{ l/semana}$$

$$\text{Volumen semanal total (galones)} = 602,97 \text{ g/semana}$$

Teniendo en cuenta la cantidad de galones consumidos semanalmente respecto al consumo de diésel de la tabla 8 y del hidrógeno de manera comparativa se puede apreciar que los galones necesarios en hidrógeno son mucho menos.

5.2. Costo Semanal según combustible

Conociendo los valores obtenidos de la ecuación 5 y de la fig. 13, y teniendo en cuenta del alza de combustible que en el país siendo el diésel uno de aquellos que han sufrido un incremento a un precio comercial de 12,5 nuevos soles/galón [29], siendo Petroperú y Repsol aquellos que emitieron la lista de nuevos precios [30]. Se debe tener en cuenta el precio del hidrógeno siendo este de 10 MXP/l que equivalen a 1.59 soles/l [31] para poder comparar el ahorro en combustible que se obtendría.

- Costo Semanal por galón de diésel

$$\text{Costo de diésel} = \text{Costo por galón} * \text{Cantidad de galones}$$

$$\text{Costo de diésel} = 12,5 \frac{\text{soles}}{\text{gal}} * 1480 \text{ gal}$$

$$\text{Costo de diésel} = 18500 \text{ soles}$$

- Costo Semanal por litros de hidrógeno

$$\text{Costo de hidrogeno} = \text{Costo por litro} * \text{Cantidad de litros}$$

$$\text{Costo de hidrogeno} = 1,59 \frac{\text{soles}}{\text{l}} * 2282,5 \text{ l}$$

$$\text{Costo de hidrogeno} = 3633,945 \text{ soles}$$

Comparando las cantidades de dinero que se emplean en cada tipo de combustible por semana se puede decir que existe un ahorro considerable, generando que el dinero no empleado en la compra de combustible pueda ser derivado a diferentes departamentos de la mina que necesiten mejorar para su óptimo funcionamiento.

5.3. Costos según mantenimiento

Según el avance que se ha realizado a lo largo de estos últimos años podemos asegurar que este tipo de proyecto tiene un alto costo de inversión ya que los consumidores valoran o les brindan más importancia a los costos iniciales que a los de operación.

Por tal motivo si se habla de manera financiera se puede interpretar de la siguiente manera; que se valora el dinero de ahora que el de a futuro, pero todo se solucionaría a lo largo de los años con las nuevas invenciones y los gobiernos que deseen promover este tipo de tecnología.

Teniendo en cuenta que el ahorra en cuanto al consumo de combustible es del 15% en los vehículos [32] y con los costos de mantenimiento que se obtuvieron podemos analizar el ahorro que se obtendría y lo rentable que sería.

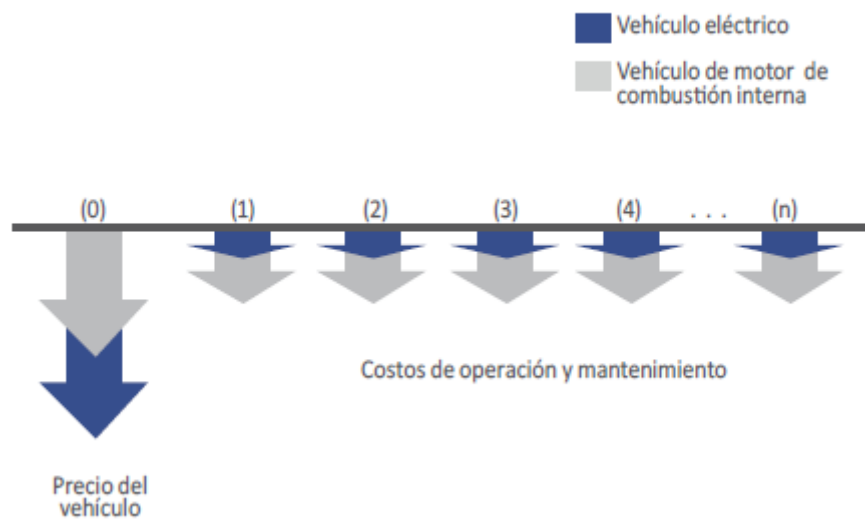


Fig. 15 Comparación del costo total de propiedades entre vehículos

A partir de los datos brindados en las Fig. 46 y 47. Podemos apreciar los costos de mantenimiento de las maquinas que se emplean y su vez poder diferenciar aquellos que son fijos y los que ya no se emplearían por el uso de las celdas.

- Mantenimiento Caterpillar 420F2

Tabla 12. Descripción del Mantenimiento del Caterpillar 420F2

| DESCRIPCION | COSTOS (\$) |
|--|-------------|
| MANO DE OBRA | 900,00 |
| MISCELANEOS | 95,00 |
| RCTIFICACIONES DEL MOTOR | 940,00 |
| RESPUESTOS DE MOTOR | 4220,00 |
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DIESEL | 1660,00 |
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL TURBO | 1100,00 |
| MANTENIMEINTO CORRECTIVO AL SISTEMA ELECTRICO | 400,00 |
| MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SISTEMA DE REFRIGERACION | 330,00 |
| LUBRICANTES, FILTROS, REFRIGERANTE | 540,00 |
| TOTAL | 10185,00 |

Como se puede apreciar en el cuadro anterior los costos por mantenimiento en dólares, aquellos que están resaltados son los valores que serán descartados con el uso de las celdas de combustible.

Es decir, que todo lo sombreado será el dinero que tendremos ahorrado cuya sumatoria es de 8250 dólares mensuales.

- Mantenimiento VOLVO NL10

Tabla 13. Descripción del Mantenimiento del VOLVO NL10

| DESCRIPCION | COSTOS (\$) |
|--|----------------|
| MANO DE OBRA | 950,00 |
| MISCELANEOS | 95,00 |
| RECTIFICACIONES DEL MOTOR | 885,00 |
| RESPUESTOS DE MOTOR | 3662,00 |
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO DEL SISTEMA DIESEL | 1030,00 |
| MANTENIMIENTO CORRECTIVO AL TURBO | 711,00 |
| MANTENIMEINTO CORRECTIVO AL SISTEMA ELECTRICO | 300,00 |
| MANTENIMIENTO PREVENTIVO AL SISTEMA DE REFRIGERACION | 470,00 |
| LUBRICANTES, FILTROS, REFRIGERANTE | 520,00 |
| TOTAL | 8623,00 |

De igual manera que en el punto anterior lo resaltado muestra el ahorro que se tendrá, que en totalidad es de 6758 dólares mensuales.

- Planta chancadora

En la planta chancadora tenemos que los costos del mantenimiento preventivo y correctivo son de 339,7 y 201,84 dólares por hora, siendo estas 12 las horas el tiempo que se necesita [33].

$$\text{Mant. Preven.} = 339,7 \times 12 = 4076,4 \text{ dol}$$

$$\text{Mant. Correc.} = 201,7 \times 12 = 2422,08 \text{ dol}$$

Haciendo un total de 6498, 48 dólares mensuales, ahora considerando que al igual que en los anteriores estudios el ahorro de casi un 78% que hablando en cifras más exactas sería de 5068,81.

A. VAN Y TIR

Se hace un cálculo para evaluar el ahorro de energía fósil en la minera y se evalúa el beneficio económico para hallar el VAN y el TIR.

Teniendo en cuenta el costo de las celdas (Véase Tabla 14), consumo de combustible Diesel (véase tabla 15), y el costo por consumo de combustible de hidrogeno (Véase tabla 16).

Tabla 14. Costo celdas PEM [27]

| CELDAS DE COMBUSTIBLE | | | | | | |
|------------------------------|------------|----|-------|------------|---------------|-----------------|
| VEHICULO | MODELO | kW | CANT. | COSTO (S/) | TOTAL (S/) | TOTAL (\$) |
| Camion Volquete | Volvo NL10 | 50 | 6 | 39580 | 237480 | 64119,6 |
| | | 9 | 1 | 2580 | 2580 | 696,6 |
| Cargador Frontal | 420F2 | 50 | 2 | 39580 | 79160 | 21373,2 |
| | | 10 | 1 | 3000 | 3000 | 810 |
| Planta Chancadora | NW80 | 50 | 1 | 39580 | 39580 | 10686,6 |
| | | 25 | 1 | 19790 | 19790 | 5343,3 |
| TOTAL | | | | | 381590 | 103029,3 |

Tabla 15. Consumo de Combustible Diesel [34]

| CONSUMO DE COMBUSTIBLE DIESEL | | | | | |
|--------------------------------------|------------|-------------|------------|-------------|----------------|
| VEHICULO | MODELO | CANT. (gal) | COSTO (S/) | TOTAL (S/) | TOTAL (\$) |
| Camion Volquete | Volvo NL10 | 408,14 | 12,5 | 5101,75 | 1377,473 |
| Cargador Frontal | 420F2 | 49,53 | 12,5 | 619,125 | 167,1638 |
| Planta Chancadora | NW80 | 145,29 | 12,5 | 1816,125 | 490,3538 |
| TOTAL | | | | 7537 | 2034,99 |

Tabla 16. Consumo de Combustible Hidrogeno [35]

| CONSUMO DE COMBUSTIBLE HIDROGENO | | | | | |
|---|------------|-------------|------------|---------------|-----------------|
| VEHICULO | MODELO | CANT. (gal) | COSTO (S/) | TOTAL (S/) | TOTAL (\$) |
| Camion Volquete | Volvo NL10 | 408,14 | 1 | 408,14 | 110,1978 |
| Cargador Frontal | 420F2 | 49,53 | 1 | 49,53 | 13,3731 |
| Planta Chancadora | NW80 | 145,29 | 1 | 145,29 | 39,2283 |
| TOTAL | | | | 602,96 | 162,7992 |

Tabla 17. VAN y TIR

| | MES | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| EGRESOS | -27341,5 | 0 | | | | | | | | | | | |
| INVERSION | -103192 | 0 | | | | | | | | | | | |
| INGRESOS | 0 | 30016 | | | | | 30016 | | | | | | |
| AHORRO DE ENERGIA | | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 |
| BENEFICIOS NETOS | -130534 | 37504,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 37504,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 | 7488,76 |

| | |
|-----|--------------|
| VAN | S/. 13134,46 |
| TIR | 2,73% |

Trabajando con un interés anual del 10%, se tiene un interés mensual del 0.80%, con esta tasa de descuento y en un periodo de 12 meses, obtenemos un VAN de S/. 13134,46 y una TIR del 2,73%, verificando la viabilidad económica del proyecto.

VI. SELECCIÓN DE LOS MATERIALES PARA EL DISEÑO DE LA CELDA TIPO PEM

6.1. Membrana de intercambio protónico

La membrana o electrolito consiste en un esqueleto de polímero, zona hidrofóbica, con grupos de funcionales ácidos adjuntos a la cadena de polímero, zona hidrofóbica. Cuando este tipo de electrolitos se encuentran con el agua sus iones negativos son fuertemente retenidos dentro de la estructura. Solo los iones positivos en la parte hidrofílica dentro de la membrana son móviles y libres para transportar los protones de hidrógeno en una sola dirección de la capa catalizadora del ánodo al cátodo.

La conductividad iónica del electrolito aumenta con respecto a la hidratación de la membrana, pero si hubiera exceso de agua produciría una caída de corriente, en caso de que la membrana no este lo suficiente hidratada la celda no funcionaría.

Las principales funciones de la membrana son:

- Separar los gases reactivos
- Ser electrolito para las reacciones electroquímicas
- Facilitar el transporte selectivo de protones del ánodo al cátodo.

Para cumplir las funciones anteriores es necesario tener ciertas características [36]:

1. Bajo costo
2. Alta conductividad protónica
3. Impermeabilidad a los gases reactantes
4. Alta resistencia mecánica
5. Estabilidad térmica y dimensional

6. No conductora de electrones
7. Baja transferencia de agua por conducción de iones
8. Alta resistencia a la degradación
9. Estabilidad química a la oxidación e hidrólisis.

Existen diversos factores que afectan la conductividad de la membrana, ya sea por el tamaño del ion, la carga y la solvatación. Las membranas son aquellas cuyo ion móvil es el hidrógeno y el solvente es el agua en saturación, siendo el transporte del agua un punto importante en este tipo de membranas tanto en lo referente a la electroósmosis como en la difusión inversa del agua una vez que un gradiente es establecido.

6.1.1. Clasificación de materiales de membranas

Las membranas utilizadas en las celdas de combustible se clasifican en tres grupos principales.

6.1.1.1. Membranas perfluorosulfonadas

El poliestireno sulfonado fue el electrolito utilizado en las pilas de 1 kW de General Electric utilizadas en los vuelos Gemini de la NASA como generador de energía auxiliar en los años 60. El salto subjetivo más esencial en el avance de las capas para PEMFC fue la sustitución de las capas de poliestireno sulfonado por las membranas perfluorosulfonadas de Dupont (Nafion en los años 70). [37]

La membrana más contemplada de este componente es Nafion, creada a finales de los años 60 por Dupont, y se ha utilizado en diferentes marcos electroquímicos, por ejemplo, procedimientos cloro-álcali, electrólisis, sensores o pilas de combustible. La principal capa de negocios fue Nafion 120, seguida por Nafion 117

De esta manera, Dow Chemical Company creó membranas con un peso proporcional más bajo (masa de polímero seco por mol de -SO₃H), adquiriendo densidades de potencia más altas. La figura 14 muestra la estructura de las membranas de Nafion y Dow.

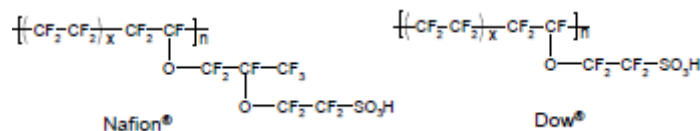


Fig. 16 Estructura de los polímeros Nafion® y Dow®. [38]

Después de este logro de Dow, Dupont idealizó las capas de Nafion disminuyendo el peso proporcional y el grosor de sus capas, obteniendo resultados prácticamente idénticos a los obtenidos con las membranas Dow. [38]

| Membrana | Peso equivalente | Grosor seco / mm |
|-------------|------------------|------------------|
| Nafion® 120 | 1200 | 250 |
| Nafion® 117 | 1100 | 175 |
| Nafion® 115 | 1100 | 125 |
| Nafion® 112 | 1100 | 50 |
| Nafion® 111 | 1100 | 25 |
| Nafion® 105 | 1000 | 125 |

Fig. 17 Diferentes membranas comerciales de Nafion. [39]

Sin embargo, la membrana de Nafion tiene la desventaja de ser de alto costo, fabricada en laboratorios especializados, es dependiente del agua para la conductividad protónica, es inestable a temperaturas mayores de 100°C, no es biodegradable y no se puede reciclar, solo incinerándola puede ser desechada por lo cual también sería perjudicial al medio ambiente.

Existen otras compañías que fabrican membranas perfluorosulfónicas a partir de resinas XR que es el nombre comercial impuesto por Dupont, precursora del Nafión.

| Nombre comercial | Estructura polimérica | Compañía |
|-------------------|---|---------------------|
| Nafión®, Flemion® | $\text{CF}_2=\text{CFOCF}_2\text{CF}(\text{CF}_3)\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{SO}_2\text{F}$ | DuPont, Asahi Glass |
| Aciplex® | $\text{CF}_2=\text{CFOCF}_2\text{CF}(\text{CF}_3)\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{SO}_2\text{F}$ | Asahi Chemical |
| -- | $\text{CF}_2=\text{CFOCF}_2\text{CF}(\text{CF}_3)\text{OCF}_2\text{CF}_2\text{CF}_2\text{SO}_2\text{F}$ | Dow Chemical |

Fig. 18 Membranas comerciales perfluorosulfónicas [40]

Con el objeto de mejorar las propiedades de conducción, a la manufactura de las membranas de base Nafión se le han agregado algunos grupos funcionales, cuyas ventajas y desventajas se muestran en la Fig. 17.

| Monómero | Costo | Obtención | Ventajas y desventajas |
|-------------------------|----------|-------------|--|
| Fluorocarboxilato | Medio | Moderada | Baja conductividad |
| Fluorosulfonamida | Alto | Moderada | Baja conductividad y estabilidad |
| Sulfonato estireno | Bajo | Pocos pasos | Conductividad moderada, baja estabilidad |
| Fluorosulfonato | Alto | Moderada | Alta conductividad |
| Fluorosulfonimida | Muy alto | Difícil | Alta conductividad |
| Fluorosulfonil metiluro | Muy alto | Moderada | Alta conductividad |
| Fluorofosfato | Alto | Difícil | Baja conductividad |

Fig. 19 Grupos funcionales más comunes para las membranas con ionómeros perfluorados [40]

El buen desempeño de una celda con respecto a la membrana depende de dos factores: la hidratación y el espesor; donde la hidratación permite que los protones sean conducidos del ánodo al cátodo. El

disminuir el espesor hace factible que el arrastre de agua disminuya, se evita el cruce de agua, baja la resistencia, su costo y la hidratación es rápida.

Pero los límites existentes son en la durabilidad de la membrana, así como en la permeabilidad a los gases reactivos. [41]

6.1.1.2. Membranas no fluoradas

Son aquellas membranas que cuentan con hidrocarburos aromáticos, en su estructura base. Entre las ventajas que estas presentan están: su bajo costo, su disponibilidad en el mercado y por su estructura aromática permite tener los grupos polares en forma colgante, además de brindarles una buena resistencia térmica.

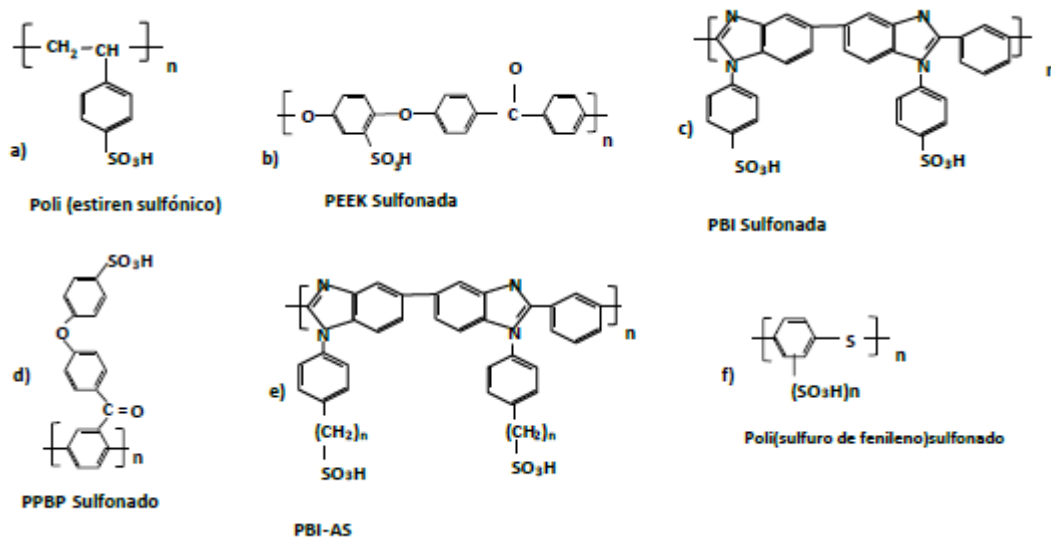


Fig. 20 Estructura química de membranas basadas en polímeros con hidrocarburos, (b) PEEK Polo (éter éter cetona) (c) PBI Poli (benzimidazol) [40]

Este tipo de membranas proporciona una impresionante y cálida solidez a los polímeros, sin embargo, por esta razón equivalente, estos polímeros requieren una alta humedad para mantener su conductividad de protones.

6.1.1.3. Membranas de complejos ácido- base

Este tipo de membranas presentan una conductividad protónica aún a altas temperaturas sin presentar deshidratación, su absorción de agua es baja ya que no depende del agua para la conductividad, presentan un bajo índice de entrecruzamiento de los gases reactivos, es decir no se mezclan los gases reactivos ya que la filtración a través de la

membrana es muy baja. Otra propiedad está su alta flexibilidad y resistencia mecánica.

La basicidad de los polímeros permite el establecimiento de puentes de hidrógeno con el ácido, es decir, los polímeros básicos actúan como solventes donde el ácido fosfórico por cualquier unidad que se repite del polímero.

La alta conductividad es consecuente al alto contenido de ácido, pero la estabilidad mecánica que esta presenta es muy pobre cuando se encuentran a temperaturas mayores de 100°C. [42]

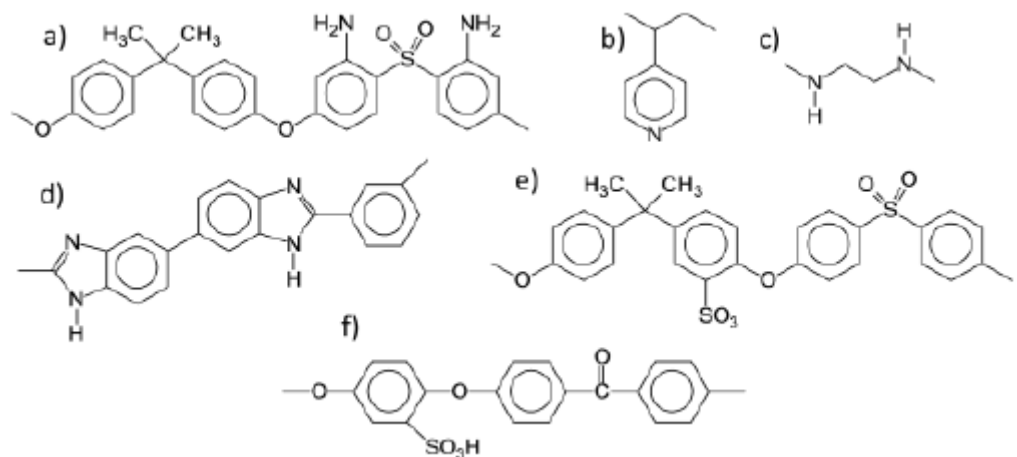


Fig. 21 Estructura química de complejos: (a-d) básico; (e, f) ácidos. [42]

6.1.1.4. Membrana de quitosán

El quitosán es un polímero cuyas características fundamentales son de origen natural, inerte, de bajo costo, hidrofóbico e insoluble en el agua, en solventes alcalinos y en orgánicos muy volátiles. También se puede formar como gel para configurarlas como membranas debido a su solubilidad en ácidos orgánicos diluidos. El quitosán ha sido estudiado como membrana para ultrafiltración, ósmosis inversa y pilas de litio.

La quitina es el segundo polisacárido natural más abundante después de la celulosa, de la cual se determina el quitosán. La quitina se puede encontrar en el exoesqueleto de los crustáceos, los bichos de los moluscos, etc.

Por lo que muchas industrias lo consideran como desperdicio. La quitina se obtiene con facilidad por medio de la desacetilación, que se da cuando se extraen las proteínas. [36]

Una membrana de quitosán puede mantener su estabilidad térmica y química por encima de los 200°C con una resistencia mecánica aceptable. Además, al estar frente de grupos hidroxilos y aminos le brindan al quitosán una alta hidrofiliidad lo cual es muy importante en la aplicación en las celdas de combustible.

Las membranas de quitosán en su estado normal se caracterizan por su baja conductividad eléctrica. Si el quitosán es disuelto en ácido acético y se hace una membrana los iones que se encuentran en la membrana se dispersan y pueden ser movilizadas siempre y cuando estén influenciados de un campo eléctrico.

Respecto a las propiedades iónicas que el quitosán es mayormente utilizado para la conducción iónica de cloruro [43]. Cuando la membrana de quitosán es saturada con agua los grupos de amino son protonados dejando separados los iones hidróxido del agua, los cuales cumplen con la función de conducción de la membrana.

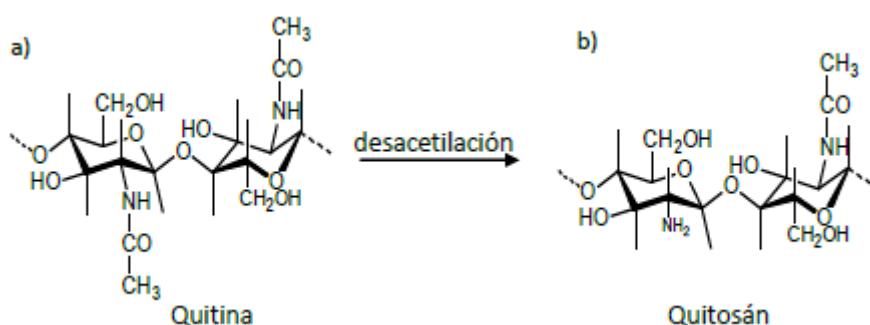


Fig. 22 Estructura química de la quitina(a); Estructura química del quitosán(b) [36]

Teniendo en cuenta las diferentes membranas detalladas anteriormente se ha decidido seleccionar como membrana a trabajar a la de Nafion debido que produce una fuerte atracción entre iones positivos y negativos de cada molécula causando la formación de regiones hidrofílicas dentro de la estructura del material.

Y debido al ácido utilizado para sulfonar el fuertemente hidrofílico permite absorber grandes cantidades de agua, cuando se encuentra hidratada el peso aumenta en un 38% respecto a su estado seco, cabe resaltar que mientras se encuentra hidratada estas regiones los protones son atraídos y gracias a ello son capaces de moverse.

Otro motivo por el cual ha sido seleccionada la membrana de Nafion es que a medida que su contenido de agua se aumenta, la conducción de protones también, es decir, son directamente proporcionales, además no aumenta esencialmente la temperatura, siendo este el motivo detrás del por qué este polímero soporta temperaturas mayores de 80°C.

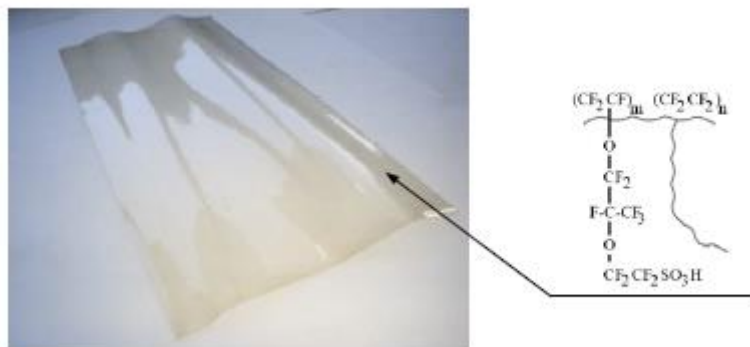


Fig. 23 Membrana de Nafion y su representación estructural

6.2. Placas Bipolares, monopolares, colectores de corriente y terminales.

Como se ha mencionado en el punto 3.5.4 del proyecto, se han especificado los elementos necesarios para la celda, en este punto a tratar se considerará las características de los materiales para que el dispositivo pueda funcionar correctamente.

Tabla 18. Funciones de la placas bipolares y requisitos esenciales de los materiales. [21]

| Función | Características del Material |
|---|--|
| Conectar eléctricamente las celdas adyacentes | Material buen conductor eléctrico |
| Distribuir eficientemente los gases sobre los electrodos a través de los canales y favorecer la salida del agua | Fácilmente conformables, para poder crear las geometrías de canal óptimas. |
| Extraer el calor generado en las áreas activas | Material buen conductor térmico |
| Dar soporte estructural a los electrodos sin incrementar excesivamente el peso | Materiales rígidos, resistentes a la compresión |
| Separar gases de celdas adyacentes | Estabilidad química e impermeabilidad. |

En el caso de los colectores de corriente, al ser un elemento independiente que se encuentran separado por las placas terminales, por lo general están hechas de un buen material conductor, como cobre o de cualquier otro metal, pero recubierto con oro. Por lo cual la mejor opción es utilizar cobre.

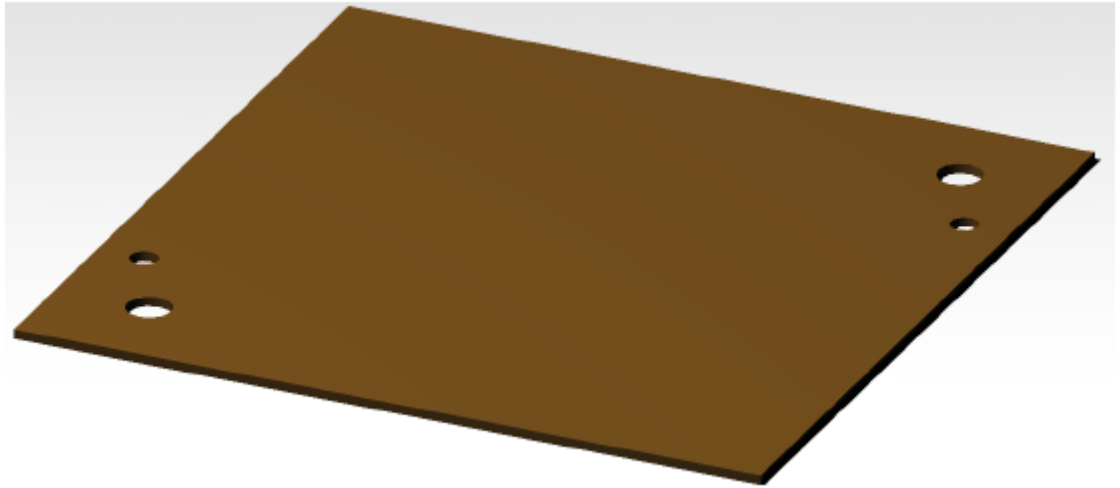


Fig. 24. Placa colectora de cobre

Para las placas terminales son fabricadas con materiales no conductores ya que al existir colectores estas quedan exentas de esta función, por lo cual su principal función es el cierre y la hermeticidad de la por lo que su diseño debe estar enfocado en el ajuste de todos los elementos interiores.

Para las placas bipolares estas están hechas de grafito debido a su buena estabilidad química, la alta resistencia mecánica, la conductividad eléctrica y el bajo costo

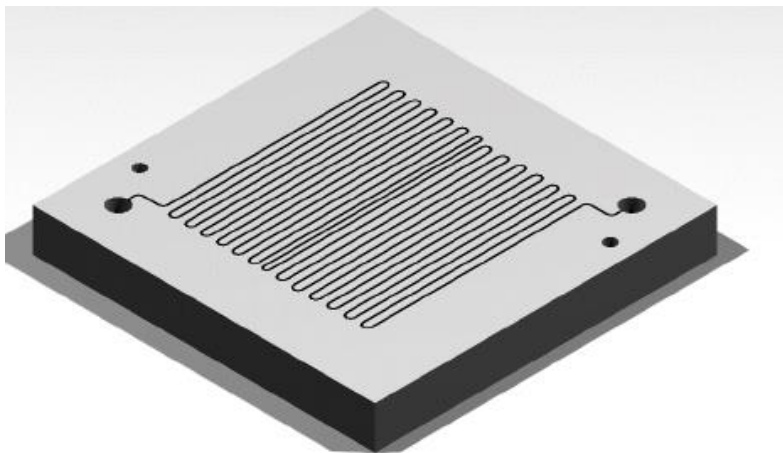


Fig. 25. Placa difusora o bipolar de grafito

Los sellos y juntas forman parte del sistema de sellado de las pilas. Son los elementos encargados de evitar las fugas de gas al exterior de la pila o el cruce de gases de una cara a otra de una misma celda. Pueden ser elementos individuales o componentes integrados en el propio electrodo. Los materiales más comunes para su fabricación son polímeros termoplásticos capaces de soportar las condiciones de operación de la pila, como el teflón (PTFE), caucho de etileno propileno dieno (EPDM), fluoruro de vinildieno (VDF), siliconas, etc.

En resumen, los materiales de la celda son:

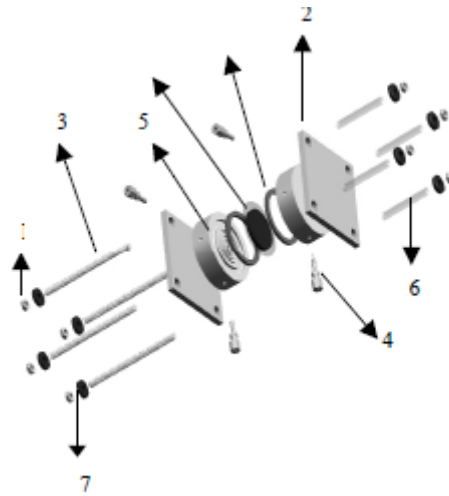


Fig. 26. Partes de la celda de combustible

Tabla 19. Resumen de materiales

| Referencia | Descripción | Material |
|------------|-----------------------------------|----------|
| 1 | Tuerca 1/4"-20 unc | acero |
| 2 | Placa | cobre |
| 3 | Tornillo 1/4"-20 unc | acero |
| 4 | Racor 3/16" unc | latón |
| 5 | Plato distribuidor de gas | grafito |
| 6 | Manguera plástica | caucho |
| 7 | Arandela | caucho |
| 8 | Empaque | caucho |
| 9 | Ensamble electrodo-membrana "EME" | |

VII. DISEÑO

7.1. Configuración de un stack o pila.

Una pila es la formación de celdas de combustible individuales ensamblados con el objetivo de que el cátodo de una celda esté asociado con el ánodo de la siguiente celda, etcétera. En este sentido, las celdas estarán asociadas eléctricamente, lo que implica que una corriente similar circula a través de cada uno de las celdas.

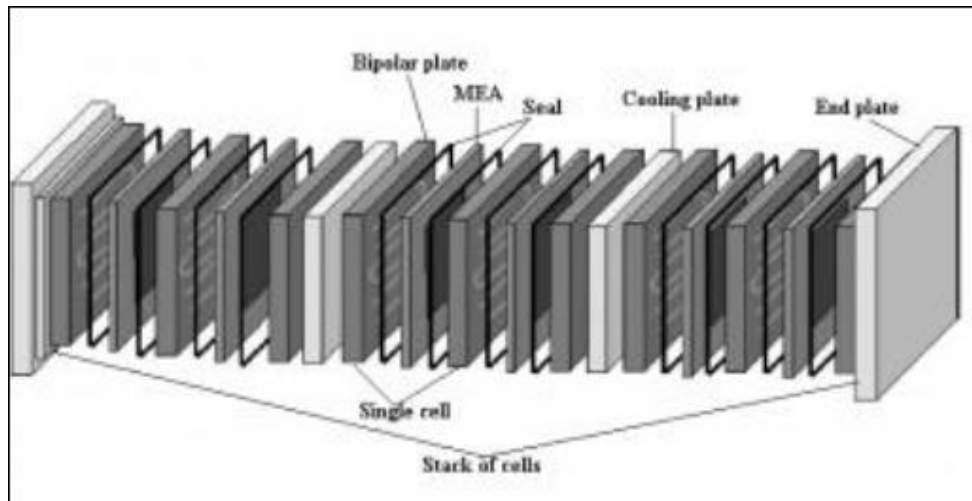


Fig. 27 Esquema de apilamiento de celdas para formar una pila

Recordando que la formación bipolar es la mejor para unidades de energía más grandes en vista del hecho de que el movimiento actual a través de placas conductoras delgadas, por lo tanto, la separación que viajan es insignificante a través de una zona extensa. Esto hace que las desgracias electro-resistivas sean insignificantes, a pesar de utilizar un conductor terrible, por ejemplo, el grafito.

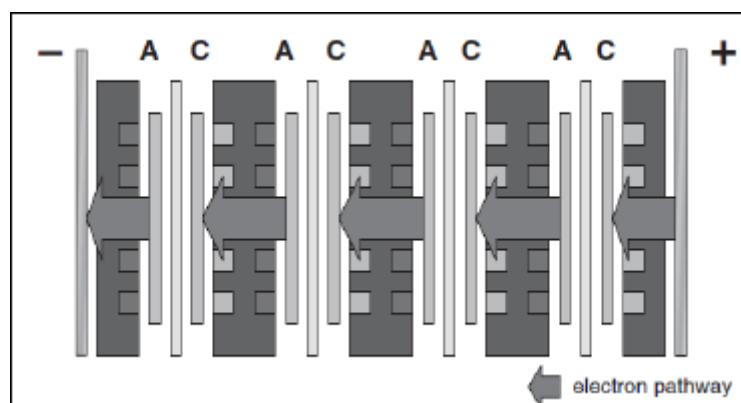


Fig. 28 Configuración Bipolar

7.2. Modelamiento en Estado Estacionario

Las condiciones entregadas a una celda impactan en la actividad de esta, por ejemplo, en el potencial eléctrico estimado entre los terminales de una celda.

Dado que la corriente es constante durante todo el tiempo de trabajo, podemos expresar que se mantiene en un estado de invariabilidad.

Se caracteriza por tener una tensión reversible, y también por contar con irreversibilidades que se producen a lo largo de la tarea de una celda PEM en un estado estacionario.

7.2.1. Potencial de Nernst

En la actualidad, descubrimos procedimientos sintéticos que normalmente se mueven hacia un estado de equilibrio a pesar del hecho de que ocurren de manera muy gradual, por lo tanto, en esta condición, la velocidad de reacción en ambos sentidos es la misma.

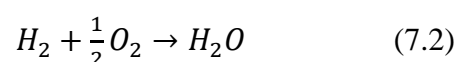
El incremento de la entropía en estos procedimientos muestra que está avanzando y se inclina hacia el equilibrio, como lo indica la segunda ley de la termodinámica.

En el momento en que la temperatura y el peso son constantes, surge un procedimiento sin restricciones que hace que la energía de Gibbs (G) disminuya, de esta manera, esto puede brindar la formación de un compuesto, el cual se denomina desarrollo de energía estándar de Gibbs (ΔG_f°) (Todos aquellos significados que tienen el superíndice $^\circ$, se encuentran en condiciones estándar, es decir, 1 bar y 298.15K individualmente).

Para hallar el cambio de energía estándar de Gibbs para una reacción o formación de algún compuesto, es importante incluir las energías de formación de todos los productos y restarlos con el agregado de las energías de los reactivos.

$$\Delta G_f^\circ = \sum \Delta G_f^\circ_{(prod)} - \sum \Delta G_f^\circ_{(react)} \quad (7.1)$$

Con la ecuación (7.1) es posible hallar la energía estándar de algún compuesto para esta situación para la respuesta agregada creada en las celdas de composición PEM. Tenemos lo siguiente:



Esta reacción tiene por producto una mol de agua, a partir de una mol de hidrogeno con medio mol de oxígeno.

Como esta reacción conlleva al paso de electrones mediante un círculo externo de carga, entonces podemos afirmar que la disminución en la energía de Gibbs es igual a el trabajo eléctrico (W_{el}).

$$W_{el} = -\Delta G_f \quad (7.3)$$

Este trabajo eléctrico es el que se genera al mover “z” electrones desde un electrodo a otro, por tal motivo esta se encuentra relacionada con la constante de Faraday (F) y el potencial (E) de la celda.

$$W_{el} = zFE \quad (7.4)$$

De esta manera, podemos obtener una relación entre las dos ecuaciones anteriores.

$$zFE = -\Delta G_f \quad (7.5)$$

A causa de los razonamientos hechos bajo las afirmaciones termodinámicas dadas por Van't Hoff, se resuelve que para una reacción química de la siguiente forma



Pero en la energía de Gibbs por “a” moles de A que reaccionan por “b” moles de B, y que producen “m” moles de M [44] y reemplazando con los valores de la reacción del agua obtenemos la siguiente ecuación.

$$\Delta G_f = \Delta G_f^\circ - RT \ln \left[\frac{p_{H_2}^* \cdot p_{O_2}^{*1/2}}{p_{H_2O}^*} \right] \quad (7.7)$$

En la ecuación (7.7) se aprecian diferentes variables donde: R simboliza la constante universal de los gases, T simboliza la temperatura de la celda, $p_{H_2}^*$, $p_{O_2}^*$ y $p_{H_2O}^*$, simbolizan las presiones parciales del combustible, oxidante y producto, respectivamente.

Teniendo en cuenta que lo más circunstancial se enfoca en el potencial de la celda, reemplazamos la ecuación (7.5) en la ecuación (7.7) de tal manera obtenemos:

$$E = \frac{-\Delta G_f^\circ}{zF} + \frac{RT}{zF} \ln \left[\frac{p_{H_2}^* \cdot p_{O_2}^{*1/2}}{p_{H_2O}^*} \right] \quad (7.8)$$

Igualmente se indica de la siguiente manera:

$$E_{Nernst} = E^{\circ} + \frac{RT}{zF} \ln \left[\frac{p_{H_2}^* \cdot p_{O_2}^{*1/2}}{p_{H_2O}^*} \right] \quad (7.9)$$

A partir de esta ecuación E° simboliza la capacidad de la celda en condiciones estándar. Teniendo todo en cuenta, esto se conoce como Potencial de Nernst.

Pero debido a que se sufrirá variaciones con respecto al cambio de temperatura dentro de la celda el potencial la ecuación queda de la siguiente:

$$E_{Nernst} = E^{\circ} + E^{\circ}_{\tau} + \frac{RT}{zF} \ln \left[\frac{p_{H_2}^* \cdot p_{O_2}^{*1/2}}{p_{H_2O}^*} \right] \quad (7.10)$$

Siendo E°_{τ} la representación del potencial causado por el cambio de temperatura en la celda.

Teniendo en cuenta la hipótesis termodinámica que crea una relación entre el cambio de energía de Gibbs con la diferencia entre la entalpía de la formación y la entropía del desarrollo, siendo esta multiplicada por una temperatura T muy diferente a la estándar.

Cabe resaltar que teniendo en cuenta que la entropía y entalpía para una reacción son indiferentes a la temperatura debido a que tanto estos como los productos aumentan de la misma manera respecto a la temperatura, por tal motivo tanto en estado estándar con temperatura distinta sus diferencias son idénticas y sus aproximaciones son razonables [45].

Si se determina que:

$$\Delta G_{f\tau}^{\circ} = \Delta G_f^{\circ} - \Delta G_{f,\tau} \quad (7.11)$$

Entonces, teniendo en cuenta lo anterior mencionado la ecuación anterior queda expresada de la siguiente manera:

$$\Delta G_{f\tau}^{\circ} = \Delta S_f^{\circ} (T - T_0) \quad (7.12)$$

Por consiguiente, reemplazamos la (7.12) en la (7.5), obtenemos:

$$zFE^{\circ}_T = -\Delta G_{f,T}^{\circ} \quad (7.13)$$

Si procedemos a sustituir la ecuación (7.12) en (7.13), se tiene lo siguiente:

$$E^{\circ}_T = \frac{-\Delta S_f^{\circ}}{zF} (T - T_0) \quad (7.14)$$

Obtenido este término en el cual se incluye el efecto de variación de temperatura, se puede definir el potencial reversible total.

En el caso del producto de agua en estado líquido, es correcto suponer que tanto la presión parcial y su actividad son iguales a la unidad.

Por lo tanto, el potencial de Nernst se escribe de la siguiente manera:

$$E_{Nernst} = E^{\circ} + \frac{-\Delta S_f^{\circ}}{zF} (T - T_0) + \frac{RT}{zF} \left[\ln(p_{H_2}^*) + \frac{1}{2} \ln(p_{O_2}^*) \right] \quad (7.15)$$

El proceso teórico que se ha detallado ha sido detallado únicamente con las propiedades termodinámicas en una celda de combustible.

7.2.2. Sobre potencial de Activación

En una celda los electrodos se encuentran separados entre sí por un electrolito sólido. Al contacto formado entre el electrodo y el electrolito se le denomina como interface electrodo-electrolito.

Debido a que cada electrodo está en función de una base de material metálico y el electrolito de polímero conductor de protones, se genera una separación y acumulación de cargas en ambos lados de cada interface, a este fenómeno se le llama: Doble capa de carga. Como en la celda se cuenta con dos electrodos con una capa catalítica se forma en mismo número de interfaces.

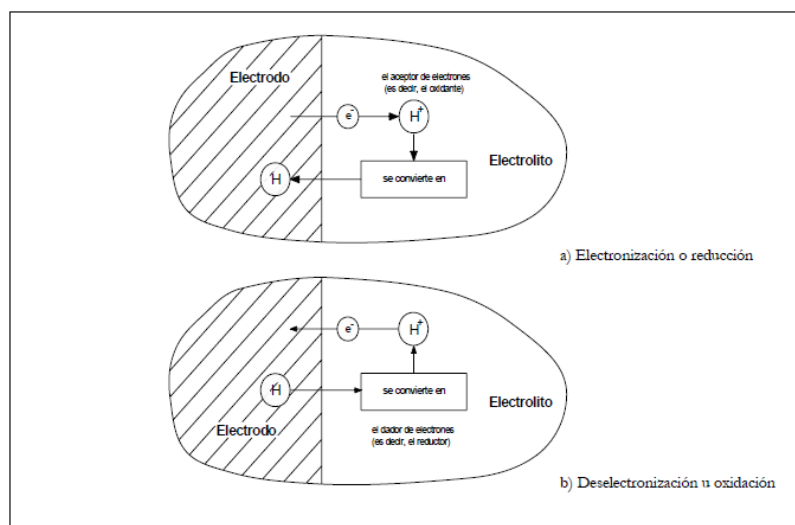


Fig. 29 Modelo de transferencia de carga en una interface [46]

El sobre potencial que se haya presente en el instante en que las velocidades de la reacción son controladas por la lenta cinética del electrodo. Esto se debe cuando se lleva a cabo una reacción electroquímica en los electrodos en donde existe una barrera que debe ser superada para que las especies reactantes se puedan disociar en iones.

La barrera causa una baja de voltaje a lo largo del funcionamiento de la celda. Esta caída debida al sobre potencial por activación es expresada por la ecuación de Tafel. [47]

$$\eta_{act} = \frac{RT}{\alpha nF} \cdot \ln\left(\frac{i}{i_0}\right) \quad (7.16)$$

Donde α es el coeficiente de transferencia de carga para la reacción e i_0 es la densidad de corriente de intercambio.

Debido a que la ecuación no puede quedar expresada en logaritmo natural fue llevada a base diez dejando como resultado la siguiente expresión:

$$\eta_{act} = \frac{2.3RT}{\alpha nF} \cdot \log\left(\frac{j}{j_0}\right) \quad (7.17)$$

Esta expresión es conocida como la Ecuación de Tafel ya que este autor la determino de manera experimental y años después se fue hallada por Butler y Volmer.

El sobre potencial de la ecuación (7.17) indica que, para que se realice la activación, se requiere una energía asociada en el proceso de carga. Ya que el potencial asociado se toma de la misma celda, entonces se disminuye potencial reversible, en otras palabras, este sobre potencial causa pérdidas al potencial de Nernst.

7.2.3. Sobre potencial Óhmico

Se sabe que en un conductor ideal no existe oposición al flujo de electrones, pero en un conductor real ocurre oposición a dicho flujo, a causa del material usado y a la temperatura a la cual está operando. Esta oposición se denomina Resistencia electrónica R_e . [45]

En la membrana la conducción de protones se ve limitada por el encerrado de agua que se encuentra en su interior y por su temperatura de operación. Esta restricción que bien es la resistencia al flujo de protones se le conoce con el nombre de Resistencia de la Membrana R_m . [45]

En la celda se encuentran diversos componentes que la conforman como por ejemplo las capas colectoras, la capa de difusión, cables de conexión, etc. Que también presentan una resistencia al flujo de

electrones, este tipo de resistencia es considerado como Resistencia electrónica de la celda R_{cell} . En ciertos casos esta resistencia puede ser despreciable y en otras son de gran magnitud por lo que se deberá considerar dentro del análisis del comportamiento.

Para abreviar términos se puede considerar una resistencia equivalente denominada resistencia de hardware R_H . Que es la sumatoria entre el paso de electrones a través de los electrodos con la que ocurre a través de los componentes de celda.

$$R_H = R_{e-} + R_{cell} \quad (7.18)$$

En resumen, la caída de potencial o sobre potencial de resistencias, se describe a través de la ley de Ohm. Es decir:

$$\eta_{ohmic} = j \cdot R_T \quad (7.19)$$

Siendo:

$$R_T = R_m + R_H \quad (7.20)$$

La ecuación 7.19 representa la irreversibilidad en una celda es decir las pérdidas óhmicas en la celda.

7.2.4. Sobre potencial de Concentración

En los puntos anteriores no se describe completamente todas las regiones de operación de la celda, ya que dentro de esta se presentan también fenómenos de transferencia o transporte de masa.

Las etapas que generalmente contribuyen a estas pérdidas por transporte son fundamentalmente causadas por la baja difusión de los gases en los medios porosos, la baja solubilidad de los gases y el agua dentro y fuera del electrolito. El efecto del cambio de presión parcial de los gases se aprecia en la ecuación de Nernst ya anteriormente explicada.

La variación de potencial producida por un cambio de concentración en el electrodo es denominada como sobre potencial por concentración:

$$\Delta E = \eta_{conc} = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_S}{C_B} \quad (7.21)$$

Donde C_B representa la concentración de iones en el volumen del electrolito, C_S representa la concentración del reactivo en la superficie del electrodo.

Teniendo en cuenta que se puede obtener un valor entre la relación de concentraciones se expresa en la siguiente ecuación:

$$j = zFD \frac{(C_B - C_S)}{\delta} \quad (7.22)$$

Se denomina de la misma manera la densidad de corriente máxima o límite que es aquella densidad de corriente producida por la reacción no puede ser mantenida.

$$j_{max} = zFD \frac{C_B}{\delta} \quad (7.23)$$

Donde j es la densidad de la corriente producida, z es el número de electrones implicados en la reacción, D es el coeficiente de difusión y δ es el espesor de la capa de difusión.

Al reacomodar la anterior ecuación en función de las concentraciones obtenemos lo siguiente

$$\frac{C_S}{C_B} = 1 - \frac{j\delta}{zFDC_B} \quad (7.24)$$

Reemplazando la ecuación (7.24) en (7.21) obtenemos lo siguiente:

$$\eta_{conc} = \frac{RT}{zF} \ln \left(1 - \frac{j\delta}{zFDC_B} \right) \quad (7.25)$$

Si se desea dejar la ecuación anterior en función de la densidad de corriente máxima estaría expresada de la siguiente manera.

$$\eta_{conc} = \frac{RT}{zF} \ln \left(1 - \frac{j}{j_{max}} \right) \quad (7.26)$$

Esta última ecuación nos permite describir el sobre potencial generado por un gradiente de acumulación en los reactivos causado por el transporte de masa. Este sobre potencial al igual que los anteriores detallados, le produce pérdidas al potencial reversible.

7.3. Diseño analítico

Con las ecuaciones ya detalladas con anterioridad se ha permitido tener en cuenta lo siguiente: el potencial reversible es el máximo potencial que podría obtenerse en caso que no haya ninguna pérdida, pero como no es un proceso ideal esto no ocurre, ya que las irreversibilidades afectan al

potencial y causan una baja en el mismo, por tal motivo para obtener el voltaje en los terminales de la celda se empleara la siguiente formula:

$$V_{FC} = E_{Nernst} - \eta_{act} - \eta_{ohm} - \eta_{con}$$

Donde:

V_{FC} : Voltaje entre terminales

E_{Nernst} : Potencial reversible

η_{act} , η_{ohm} , η_{con} : Irreversibilidades en una celda

7.3.1. Potencial de Nernst

Esta ecuación ya explicada y obtenida y expresa en (7.15) establecemos lo siguiente:

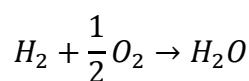
$$E_{Nernst} = E^{\circ} + \frac{-\Delta S_f^{\circ}}{zF} (T - T_0) + \frac{RT}{zF} \left[\ln(p_{H_2}^*) + \frac{1}{2} \ln(p_{O_2}^*) \right]$$

A partir de este momento procedemos a sustituir cada constante en la ecuación.

Tabla 20. Constantes fundamentales

| CANTIDAD | SIMBOLOS Y EQUIVALENCIAS | VALOR |
|----------------------------------|--------------------------|---|
| Constante universal de los gases | R | 8,31441 J. K ⁻¹ .mol ⁻¹ |
| Temperatura en cond. Estándar | T ₀ | 298,15 K |
| Constante de Avogadro | Na | 6.002204x10 ²³ mol ⁻¹ |
| Carga del electrón | e ⁻ | 1,6021892x10 ⁻¹⁹ C |
| Constante de Faraday | F=Na.e ⁻ | 96484,56 C.mol ⁻¹ |

Teniendo en cuenta la reacción total dentro de la celda:



En esta reacción vemos que se tiene implicado un par de electrones, por tal motivo z=2, por lo que se obtiene un mol de agua (liquido) y medio mol de oxígeno en estado gaseoso.

De manera estequiometria podemos obtener las siguientes propiedades termodinámicas.

Tabla 21. Propiedades termodinámicas

| COMPUESTO | ΔH_f° | ΔG_f° | ΔS_f° |
|-----------|--------------------|--------------------|--------------------|
| H_2O | -285,830 | -237,178 | 163,179 |

Al sustituir los datos obtenidos llegamos a esta ecuación en función a la temperatura de operación.

$$E_{Nernst} = 1,229 - 8,456 \times 10^{-4} (T - 298,15) + 4,308 \times 10^{-5} \cdot T \left[\ln(p_{H_2}^*) + \frac{1}{2} \ln(p_{O_2}^*) \right]$$

7.3.2. Sobre potencial de activación

Este sobre potencial está relacionado con la conversión química de las especies, por lo tanto, depende del fenómeno de transferencia de carga del mecanismo de reacción:

$$\eta_{act} = \frac{2,3RT}{\alpha nF} \cdot \log\left(\frac{j + j_n}{j_0}\right)$$

Para los valores del coeficiente α y la corriente de intercambio j_0 . Se han obtenido de un análisis experimental dando como resultado los siguientes valores en un rango de operación que va desde 303,15K hasta 343,15K. [48]

$$\alpha(T) = a \cdot T^b$$

La ecuación anteriormente mostrada los datos forma una tendencia de variación de una potencia. Los coeficientes de esta ecuación son $a=4,141 \times 10^{-5}$ y $b=1,642$.

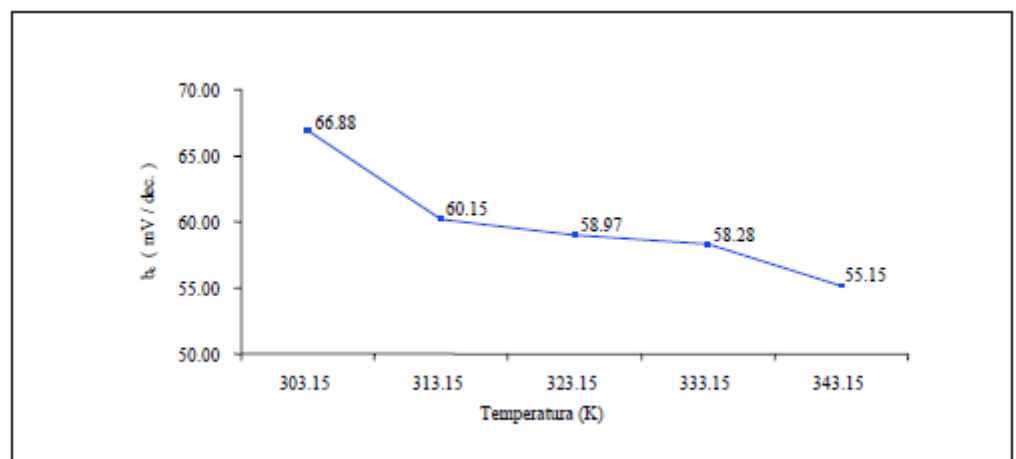


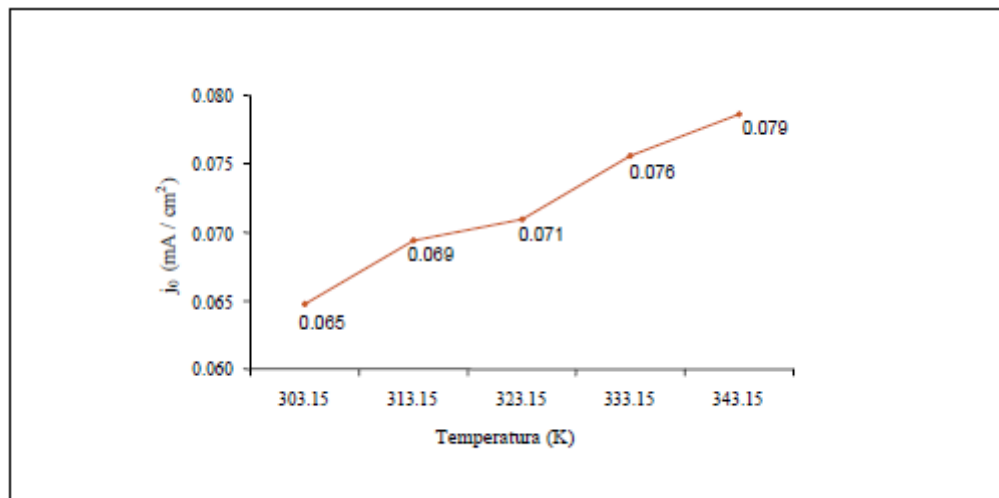
Fig. 30 Valores para b_c , de la pendiente de Tafel [48]

Fig. 31 Valores de corriente de Intercambio [48]

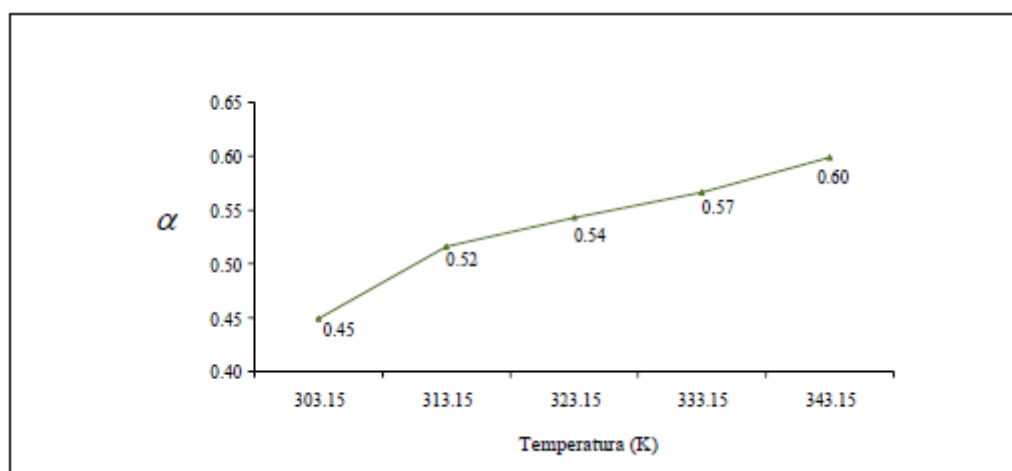


Fig. 32 Coeficiente de transferencia de Carga

7.3.3. Sobre potencial Óhmico

Este sobre potencial está vinculado con la resistencia de la membrana y con la resistencia electrónica de los componentes, siendo el de la membrana inversamente proporcional a la conductividad protónica σ_m . Siendo el potencial óhmico lo siguiente:

$$\eta_{ohmic} = (j + j_n) \cdot R_T.$$

En relación a los datos de la tabla 13 se confirma que la conductividad protónica está en relación a la temperatura y linealizandola queda

expresada de la siguiente manera, siendo 3.3×10^{-3} y 5.5×10^{-3} los coeficientes de a y b respectivamente.

$$\sigma_m(T) = a \cdot \exp(b \cdot T) \text{ [S. cm}^{-1}\text{]}$$

Ahora, también es posible determinar la resistencia de la membrana con respecto de la temperatura teniendo como variables el espesor (l), el área (A) y la resistividad (ρ), por lo que queda expresada de la siguiente manera:

$$R_m(T) = \frac{\rho_m \cdot (T) \cdot l}{A} \text{ [S. cm}^{-1}\text{]}$$

Se considera que la resistividad de la membrana es inversamente proporcional a la conductividad protónica. Es decir:

$$\rho_m(T) = \frac{1}{\sigma_m(T)}$$

Como ya fue mencionado con anterioridad la selección del tipo de membrana que ha sido de tipo Nafion, se presentan en la siguiente tabla sus propiedades.

Siguiendo de manera puntual en la tabla 13 se puede apreciar que también es tomada la resistencia en el hardware con respecto a la temperatura.

Al momento de ser linealizada con los respectivos valores de a y b que son 8.2553 y 1.2119 respectivamente se obtiene la siguiente ecuación:

$$R_H(T) = a + b \cdot \ln(T) \text{ [\Omega]}$$

7.3.4. Sobre potencial de concentración

Como se ha considerado que la disminución en la concentración de los reactivos es lineal, se puede hacer uso de la siguiente ecuación anteriormente explicada.

$$\eta_{conc} = -B \cdot \ln \left(1 - \frac{j + j_n}{j_{max}} \right)$$

Teniendo en cuenta que el parámetro de j_{max} ya se encuentra en la tabla 4.3 a diferentes temperatura podemos decir que es proporcional a la temperatura, por tal motivo linealizando la ecuación con -0.3363 y 0.002 como valores correspondientes de a y b. Se obtiene la siguiente expresión:

$$j_{max}(T) = a + b \cdot T \text{ [A. cm}^{-2}\text{]}$$

Para el caso B solo que pertenece a una escala semi-logaritmica donde existe una zona lineal, en donde se facilita la determinación de éste, por tal motivo queda graficada en la siguiente figura. [45]

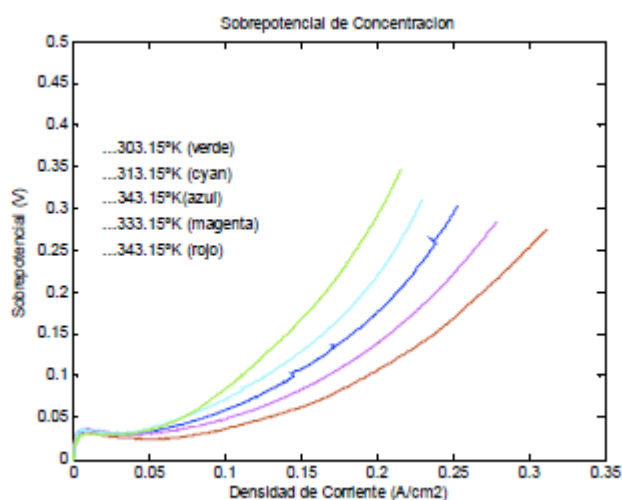


Fig. 33 Sobre potencial de concentración [45]

Los valores obtenidos en la fig. 28 pueden ser condensados en la siguiente tabla de resumen.

Tabla 22. Parámetro B y su variación con respecto a la temperatura de operación.

| TEMPERATURA (K) | B (V) |
|-----------------|-------|
| 303,15 | 0,205 |
| 313,15 | 0,179 |
| 323,15 | 0,163 |
| 333,15 | 0,138 |
| 343,15 | 0,125 |

También se dejará de manera expresada la ecuación en función a la temperatura:

$$B(T) = a + b \cdot \ln(T) \text{ [V]}$$

En donde el mejor ajuste se obtiene con los coeficientes 3,8527 y -0,6387 de a y b respectivamente.

Con todas las formas dadas a las ecuaciones explicadas anteriormente se procede hacer una tabla resumen con cada uno.

Tabla 23. Resumen de ecuaciones de Modelado analítico

| MODELO ANALÍTICO EN ESTADO ESTACIONARIO | |
|---|---|
| $V_{FC} = E_{Nernst} - \eta_{act} - \eta_{ohm} - \eta_{con}$ | |
| Potencial Reversible | Parámetros |
| $E_{Nernst} = 1,229 - 8,456 \times 10^{-4}(T - 298,15) + 4,308 \times 10^{-5} \cdot T \left[\ln(p_{H_2}^*) + \frac{1}{2} \ln(p_{O_2}^*) \right]$ | |
| Sobrepotencial de activación | |
| $\eta_{act} = \frac{2,3RT}{\alpha nF} \cdot \log\left(\frac{j + j_n}{j_0}\right)$ | $a(T) = 4,141 \times 10^{-5} \cdot T^{1.642}$ $j_0 = 2,752 \times 10^{-5} \exp(2,863 \times 10^{-3} \cdot T)$ |
| Sobrepotencial óhmico | |
| $\eta_{ohmic} = (j + j_n) \cdot R_T$ Pero: $R_T = R_m + R_H$ | $R_m(T) = \frac{\rho_m \cdot (T) \cdot l}{A}$ $\rho_m(T) = \frac{1}{\sigma_m(T)}$ $\sigma_m(T) = 3,3 \times 10^{-3} \cdot \exp(5,5 \cdot 10^{-3} \cdot T)$ $R_H(T) = 8,2553 - 1,2119 \cdot \ln(T)$ |
| Sobrepotencial de concentración | |
| $\eta_{conc} = -B \cdot \ln\left(1 - \frac{j + j_n}{j_{max}}\right)$ | $j_{max}(T) = 0,002 + 0,3363T$ $B(T) = 3,8527 - 0,6387 \cdot \ln(T)$ |

7.4. Evaluación correspondiente para la potencia de las maquinarias.

En este apartado se presentarán los valores obtenidos para cada una de los stacks teniendo como base datos experimentales [49] y con la relación entre número de celdas y área activa de la celda para diferentes potencias de salida (fig. 29).

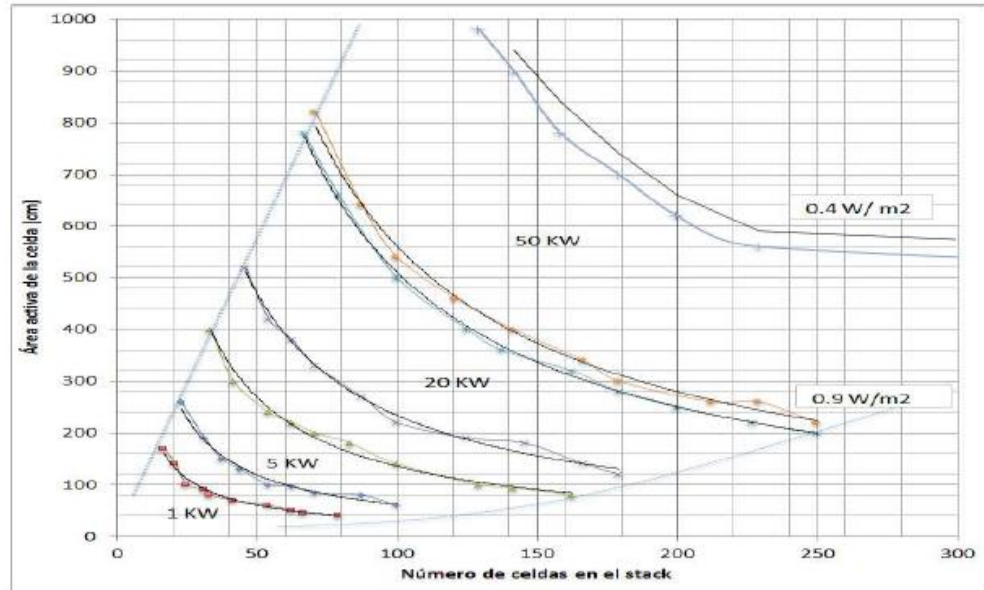


Fig. 34 Stack de Celdas de Combustibles. [34]

Se elige la membrana de Nafion 115 ya que por pruebas experimentales genera $350\text{Mw}/\text{cm}^2$ [34], con un tamaño de 900cm^2 ya que es uno de los tamaños más comerciales en los que se puede adquirir la membrana. En el caso de las presiones de saturación y los calores específicos son obtenidos de las tablas de Robert T. Balmer.

La potencia de las maquinarias son en base a los datos de la tabla 10.

7.4.1. Camión Volquete

Según la tabla 10 esta maquinaria genera una potencia de 309 kW, y según la fig. 29, teniendo como potencia límite de 50kW por stack, se necesitarán seis de esta potencia y un solo stack de 9kW.

Para tener un cálculo necesitamos los siguientes parámetros.

Tabla 24. Parámetros Potencia 50kW

| PARÁMETROS | | | |
|--|------------------|--------|----------------------------|
| Coefficiente de transferencia de carga | (α) | 1 | |
| Corriente de intercambio | (j_0) | 0,001 | mA/cm ² |
| Resistencia interna | (R_i) | 0.2 | $\Omega \cdot \text{cm}^2$ |
| Temperatura de funcionamiento | (T_f) | 60 | °C |
| Presión de funcionamiento | (P_f) | 101,3 | kPa |
| Potencia de Stack | (W_s) | 50000 | W |
| Voltaje de Stack | (V_s) | 120 | V |
| Membrana nafion115 | (N_{115}) | 350 | mW/cm ² |
| Tamaño de membrana | (T_m) | 900 | cm ² |
| Presión de entrada (aire) | (P_e) | 115 | kPa |
| Temperatura del aire | (T_a) | 20 | °C |
| Presión del aire | (P_a) | 100 | kPa |
| Humedad relativa | (ϕ) | 60 | % |
| Constante Faraday | (F_1) | 96485 | C/Mol |
| Concentración de Oxígeno en el aire | (r_{O2}) | 21 | % |
| Peso molecular del aire | (M_{air}) | 28,97 | g/mol |
| Presión de saturación a 60°C | (P_{vs_60}) | 19,944 | kPa |
| Peso molecular del agua | (M_{agua}) | 18 | g/mol |
| Presión de saturación a 20°C | (P_{vs_20}) | 2,339 | kPa |
| Entalpía en mezcla de aire y agua | (H_{fg}) | 2500 | J/g |
| Calor específico a presión const. En el aire | (C_{p_air}) | 1,01 | J/g.C |
| Calor específico a volumen const. En el aire | (C_{p_v}) | 1,87 | J/g.C |
| Calor específico del agua | (C_{p_w}) | 4,18 | J/g.C |

Con los valores anteriormente mostrados realizamos los siguientes cálculos.

Tabla 25. Cálculos 50kW

| CÁLCULO | | | |
|---|---------------|------------|-------------------|
| Área activa total | | | |
| $Ata = \frac{W_s}{N_{115}}$ | (Ata) | 142857,143 | cm ² |
| Potencia para una celda | | | |
| $W_c = T_m * N_{115}$ | (W_c) | 315,000 | W/Celda |
| Número de monoceldas | | | |
| $\#Mc = \frac{W_s}{W_c}$ | (#Mc) | 159 | Celdas |
| Voltaje reversible | | | |
| $V_r = E_{erst} - N_{act} - N_{ohm} - N_{cont}$ | (V_r) | 1 | V |
| Corriente de celda | | | |
| $I_c = \frac{N_{115}}{V_r}$ | (I_c) | 0,350 | A/cm ² |
| Oxígeno consumido | | | |
| $O2c = \frac{I_c * Ata}{4 * F_1}$ | (O2c) | 0,12955 | Mol/s |
| Tasa de flujo de oxígeno | | | |
| $N_{O2} = 2 * O2c$ | (N_O2) | 0,259108 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que ingresa a la celda | | | |
| $Na_{ing} = \frac{N_{O2}}{r_{O2}}$ | (Na_ing) | 1,234 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que entra a la celda | | | |
| $m_{air,ing} = Na_{ing} * M_{air}$ | (m_air,ing) | 35,745 | g/s |
| Agua contenida en el aire con saturación | | | |
| $Xs = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{Pvs_{60}}{P_e - Pvs_{60}} \right)$ | (Xs) | 0,130 | gH2O/gAir |
| Flujo másico del agua que entra al aire | | | |
| $m_{agua,amb} = Xs_{60} * m_{air,ing}$ | (m_agua,ing) | 4,660 | gH2O/s |
| Agua contenida en el aire con saturación en 60% de HR | | | |
| $Xs_{60} = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{\phi * Pvs_{20}}{P_a - \phi * Pvs_{20}} \right)$ | (Xs_60) | 0,009 | gH2O/gAir |
| Flujo másico del agua en el ambiente | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m_agua,amb) | 0,316 | gH2O/s |
| Mezcla necesaria para la humidificación | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m_agua,in) | 4,344 | gH2O/s |
| Entalpía del aire que entra a la celda | | | |
| $H_{air,in} = Cp_{air} * T_f + Xs * (Cp_v * T_f + H_{fg})$ | (H_{air,in}) | 401,136 | J/s |
| Entalpía del aire contenida en el ambiente | | | |
| $H_{air,amb} = Cp_{air} * T_a + Xs_{60} * (Cp_v * T_a + H_{fg})$ | (H_{air,amb}) | 42,640 | J/s |
| Entalpía del agua | | | |
| $H_{agua} = Cp_w * T_f$ | (H_agua) | 250,800 | J/s |

Con los valores obtenidos de esta tabla obtenemos los resultados necesarios.

Tabla 26. Resultados stack 50kW

| RESULTADOS | | | |
|--|--------------|----------|-----|
| Calor para la humidificación | | | |
| $Q_h = H_{air,in} * m_{air,in}g - H_{air,amb} * m_{air,in}g - H_{agua} * m_{agua,amb}$ | (Q_h) | 12734,97 | W |
| Eficiencia | | | |
| $\eta = \frac{V_r}{E^\circ}$ | (η) | 0,67 | W |
| Calor obtenido en la Celda | | | |
| $Q = \frac{W_s}{\eta} - W_s$ | (Q) | 24100 | W |
| Cantidad de agua generada en la Celda | | | |
| $m_{agua,gen} = \frac{N_{115} * A_{ta}}{2 * F_1} * M_{agua}$ | (m_agua,gen) | 4,66 | g/s |

De la misma manera para el stack de 9kW, siendo solo este el único parámetro que cambia.

Tabla 27. Cálculos stack 9kW

| CÁLCULO | | | |
|---|--------------|-----------|-------------------|
| Área activa total | | | |
| $Ata = \frac{W_s}{N_{115}}$ | (Ata) | 25714,286 | cm ² |
| Potencia para una celda | | | |
| $W_c = T_m * N_{115}$ | (W_c) | 315,000 | W/Celda |
| Número de monoceldas | | | |
| $\#Mc = \frac{W_s}{W_c}$ | (#Mc) | 29 | Celdas |
| Voltaje reversible | | | |
| $V_r = E_{erst} - N_{act} - N_{ohm} - N_{cont}$ | (V_r) | 1 | V |
| Corriente de celda | | | |
| $I_c = \frac{N_{115}}{V_r}$ | (I_c) | 0,350 | A/cm ² |
| Oxígeno consumido | | | |
| $O2c = \frac{I_c * Ata}{4 * F_1}$ | (O2c) | 0,02332 | Mol/s |
| Tasa de flujo de oxígeno | | | |
| $N_{O2} = 2 * O2c$ | (N_O2) | 0,046639 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que ingresa a la celda | | | |
| $Na_{ing} = \frac{N_{O2}}{r_{O2}}$ | (Na_ing) | 0,222 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que entra a la celda | | | |
| $m_{air,ing} = Na_{ing} * M_{air}$ | (m_air,ing) | 6,434 | g/s |
| Agua contenida en el aire con saturación | | | |
| $Xs = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{P_{vs,60}}{P_a - P_{vs,60}} \right)$ | (Xs) | 0,130 | gH2O/gAir |
| Flujo másico del agua que entra al aire | | | |
| $m_{agua,amb} = Xs_{60} * m_{air,ing}$ | (m_agua,ing) | 0,839 | gH2O/s |
| Agua contenida en el aire con saturación en 60% de HR | | | |
| $Xs_{60} = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{\phi * P_{vs,20}}{P_a - \phi * P_{vs,20}} \right)$ | (Xs_60) | 0,009 | gH2O/gAir |
| Flujo másico del agua en el ambiente | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m_agua,amb) | 0,057 | gH2O/s |
| Mezcla necesaria para la humidificación | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m_agua,in) | 0,782 | gH2O/s |
| Entalpía del aire que entra a la celda | | | |
| $H_{air,in} = Cp_{air} * T_f + Xs * (Cp_v * T_f + H_{fg})$ | (Hair,in) | 401,136 | J/s |
| Entalpía del aire contenida en el ambiente | | | |
| $H_{air,amb} = Cp_{air} * T_a + Xs_{60} * (Cp_v * T_a + H_{fg})$ | (Hair,amb) | 42,640 | J/s |
| Entalpía del agua | | | |
| $H_{agua} = Cp_w * T_f$ | (H_agua) | 250,800 | J/s |

Obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 28. Resultados Stack 9kW

| RESULTADOS | | | |
|--|--------------|---------|-----|
| Calor para la humidificación | | | |
| $Q_h = H_{air,in} * m_{air,ing} - H_{air,amb} * m_{air,ing} - H_{agua} * m_{agua,amb}$ | (Q_h) | 2292,29 | W |
| Eficiencia | | | |
| $\eta = \frac{V_r}{E^\circ}$ | (η) | 0,67 | W |
| Calor obtenido en la Celda | | | |
| $Q = \frac{W_s}{\eta} - W_s$ | (Q) | 4338 | W |
| Cantidad de agua generada en la Celda | | | |
| $m_{agua,gen} = \frac{N_{115} * Ata}{2 * F_1} * M_{agua}$ | (m_agua,gen) | 0,84 | g/s |

7.4.2. Cargador frontal

Según la tabla 10 esta maquinaria genera una potencia de 110 kW, y según la fig. 29, teniendo como potencia límite de 50kW por stack, se necesitarán dos de esta potencia y un solo stack de 10kW

En este caso el resultado del stack de 50kW son los mismos obtenidos en la tabla 17. Por tal motivo solo se realizará solo para el stack de 10 kW.

Tabla 29. Cálculos para stack 10kW

| CÁLCULO | | | |
|---|---------------|-----------|-------------------|
| Área activa total | | | |
| $Ata = \frac{W_s}{N_{115}}$ | (Ata) | 28571,429 | cm ² |
| Potencia para una celda | | | |
| $W_c = T_m * N_{115}$ | (W_c) | 315,000 | W/Celda |
| Número de monoceldas | | | |
| $\#Mc = \frac{W_s}{W_c}$ | (#Mc) | 32 | Celdas |
| Voltaje reversible | | | |
| $V_r = Enerst - N_{act} - N_{ohm} - N_{cont}$ | (V_r) | 1 | V |
| Corriente de celda | | | |
| $I_c = \frac{N_{115}}{V_r}$ | (I_c) | 0,350 | A/cm ² |
| Oxígeno consumido | | | |
| $O2c = \frac{I_c * Ata}{4 * F_1}$ | (O2c) | 0,02591 | Mol/s |
| Tasa de flujo de oxígeno | | | |
| $N_{O2} = 2 * O2c$ | (N_O2) | 0,051822 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que ingresa a la celda | | | |
| $Na_{ing} = \frac{N_{O2}}{r_{O2}}$ | (Na_ing) | 0,247 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que entra a la celda | | | |
| $m_{air,ing} = Na_{ing} * M_{air}$ | (m_air,ing) | 7,149 | g/s |
| Agua contenida en el aire con saturación | | | |
| $Xs = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{Pvs_{60}}{P_a - Pvs_{60}} \right)$ | (Xs) | 0,130 | gH2O/gAir |
| Flujo másico del agua que entra al aire | | | |
| $m_{agua,amb} = Xs_{60} * m_{air,ing}$ | (m_agua,ing) | 0,932 | gH2O/s |
| Agua contenida en el aire con saturación en 60% de HR | | | |
| $Xs_{60} = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{\phi * Pvs_{20}}{P_a - \phi * Pvs_{20}} \right)$ | (Xs_60) | 0,009 | gH2O/gAir |
| Flujo másico del agua en el ambiente | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m_agua,amb) | 0,063 | gH2O/s |
| Mezcla necesaria para la humidificación | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m_agua,in) | 0,869 | gH2O/s |
| Entalpía del aire que entra a la celda | | | |
| $H_{air,in} = Cp_{air} * T_f + Xs * (Cp_v * T_f + H_{fg})$ | (H_{air,in}) | 401,136 | J/s |
| Entalpía del aire contenida en el ambiente | | | |
| $H_{air,amb} = Cp_{air} * T_a + Xs_{60} * (Cp_v * T_a + H_{fg})$ | (H_{air,amb}) | 42,640 | J/s |
| Entalpía del agua | | | |
| $H_{agua} = Cp_w * T_f$ | (H_agua) | 250,800 | J/s |

Siendo la tabla 21 la que muestra los resultados correspondientes.

Tabla 30. Resultados stack 10kW

| RESULTADOS | | | |
|--|--------------|---------|-----|
| Calor para la humidificación | | | |
| $Q_h = Hair,in * m_{air,in}g - Hair,amb * m_{air,in}g - H_{agua} * m_{agua,amb}$ | (Q_h) | 2546,99 | W |
| Eficiencia | | | |
| $\eta = \frac{V_r}{E^o}$ | (η) | 0,67 | W |
| Calor obtenido en la Celda | | | |
| $Q = \frac{W_s}{\eta} - W_s$ | (Q) | 4820 | W |
| Cantidad de agua generada en la Celda | | | |
| $m_{agua,gen} = \frac{N_{115} * Ata}{2 * F_1} * M_{agua}$ | (m_agua,gen) | 0,93 | g/s |

7.4.3. Plancha Chancadora

Según la tabla 10 esta maquinaria genera una potencia de 75 kW, y según la fig. 29, teniendo como potencia límite de 50kW por stack, se necesitarán una de esta potencia y un solo stack de 25kW

En este caso el resultado del stack de 50kW son los mismos obtenidos en la tabla 17. Por tal motivo solo se realizará solo para el stack de 25 kW.

Tabla 31. Cálculos stack 25 kW

| CÁLCULO | | | |
|---|-------------------------------|-----------|------------------------|
| Área activa total | | | |
| $A_{ta} = \frac{W_s}{N_{115}}$ | (A _{ta}) | 71428,571 | cm ² |
| Potencia para una celda | | | |
| $W_c = T_m * N_{115}$ | (W _c) | 315,000 | W/Celda |
| Número de monoceldas | | | |
| $\#Mc = \frac{W_s}{W_c}$ | (#Mc) | 79 | Celdas |
| Voltaje reversible | | | |
| $V_r = E_{erst} - N_{act} - N_{ohm} - N_{cont}$ | (V _r) | 1 | V |
| Corriente de celda | | | |
| $I_c = \frac{N_{115}}{V_r}$ | (I _c) | 0,350 | A/cm ² |
| Oxígeno consumido | | | |
| $O_{2c} = \frac{I_c * A_{ta}}{4 * F * 1}$ | (O _{2c}) | 0,06478 | Mol/s |
| Tasa de flujo de oxígeno | | | |
| $N_{O_2} = 2 * O_{2c}$ | (N _{O₂}) | 0,129554 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que ingresa a la celda | | | |
| $Na_{ing} = \frac{N_{O_2}}{r_{O_2}}$ | (Na _{ing}) | 0,617 | Mol/s |
| Flujo másico del aire que entra a la celda | | | |
| $m_{air,ing} = Na_{ing} * M_{air}$ | (m _{air,ing}) | 17,872 | g/s |
| Agua contenida en el aire con saturación | | | |
| $Xs = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{Pvs_{60}}{P_e - Pvs_{60}} \right)$ | (Xs) | 0,130 | gH ₂ O/gAir |
| Flujo másico del agua que entra al aire | | | |
| $m_{agua,amb} = Xs_{60} * m_{air,ing}$ | (m _{agua,ing}) | 2,330 | gH ₂ O/s |
| Agua contenida en el aire con saturación en 60% de HR | | | |
| $Xs_{60} = \frac{M_{agua}}{M_{air}} \left(\frac{\varphi * Pvs_{20}}{P_a - \varphi * Pvs_{20}} \right)$ | (Xs ₆₀) | 0,009 | gH ₂ O/gAir |
| Flujo másico del agua en el ambiente | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m _{agua,amb}) | 0,158 | gH ₂ O/s |
| Mezcla necesaria para la humidificación | | | |
| $m_{agua,in} = m_{agua,ing} - m_{agua,amb}$ | (m _{agua,in}) | 2,172 | gH ₂ O/s |
| Entalpía del aire que entra a la celda | | | |
| $H_{air,in} = Cp_{air} * T_f + Xs * (Cp_v * T_f + H_{fg})$ | (H _{air,in}) | 401,136 | J/s |
| Entalpía del aire contenida en el ambiente | | | |
| $H_{air,amb} = Cp_{air} * T_a + Xs_{60} * (Cp_v * T_a + H_{fg})$ | (H _{air,amb}) | 42,640 | J/s |
| Entalpía del agua | | | |
| $H_{agua} = Cp_w * T_f$ | (H _{agua}) | 250,800 | J/s |

Dando como resultado los siguientes valores.

Tabla 32. Resultados stack 25kW

| RESULTADOS | | | |
|--|--------------|---------|-----|
| Calor para la humidificación | | | |
| $Q_h = H_{air,in} * m_{air,ing} - H_{air,amb} * m_{air,ing} - H_{agua} * m_{agua,amb}$ | (Q_h) | 6367,48 | W |
| Eficiencia | | | |
| $\eta = \frac{V_r}{E^o}$ | (η) | 0,67 | W |
| Calor obtenido en la Celda | | | |
| $Q = \frac{W_s}{\eta} - W_s$ | (Q) | 12050 | W |
| Cantidad de agua generada en la Celda | | | |
| $m_{agua,gen} = \frac{N_{115} * Ata}{2 * F_1} * M_{agua}$ | (m_agua,gen) | 2,33 | g/s |

7.5.Resultados obtenidos para el diseño de las diversas celdas tipo PEM

Con los valores obtenidos anteriormente para cada tipo de máquina se agruparán los resultados en tablas resumen.

Tabla 33. Resumen Celda 50kW

| RESUMEN | | |
|---|-------------|-------------------------------|
| Potencia | 50000 | Watts |
| Voltaje | 120 | Voltios |
| Eficiencia | 67,48 | % |
| Área total activa | 142857,1429 | cm ² |
| 1 Mono celda (Área Activa) | 900 | cm ² (30cm x 30cm) |
| Temperatura de funcionamiento | 60 | °C |
| Resistencia Interna | 0,2 | Ω *cm ² |
| Densidad de Corriente perdido | 0,001 | mA/cm ² |
| Flujo Másico de Aire | 35,745 | g/s |
| Calor generado en la celda | 24100 | Watts |
| Cantidad de generación de agua en celda | 4,66 | g/s |
| Sistema de Humidificación | | |
| Cantidad de Calor necesario | 12734,97 | Watts |
| Cantidad de agua necesaria | 4,344 | gH2O/s |

Tabla 34. Resumen Celda 9kW

| RESUMEN | | |
|---|-------------|-------------------------------|
| Potencia | 9000 | Watts |
| Voltaje | 120 | Voltios |
| Eficiencia | 67,48 | % |
| Área total activa | 25714,28571 | cm ² |
| 1 Mono celda (Área Activa) | 900 | cm ² (30cm x 30cm) |
| Temperatura de funcionamiento | 60 | °C |
| Resistencia Interna | 0,2 | Ω*cm ² |
| Densidad de Corriente perdido | 0,001 | mA/cm ² |
| Flujo Másico de Aire | 6,434 | g/s |
| Calor generado en la celda | 4338 | Watts |
| Cantidad de generación de agua en celda | 0,84 | g/s |
| Sistema de Humidificación | | |
| Cantidad de Calor necesario | 2292,29 | Watts |
| Cantidad de agua necesaria | 0,782 | gH ₂ O/s |

Tabla 35. Resumen celda 10kW

| RESUMEN | | |
|---|-------------|-------------------------------|
| Potencia | 10000 | Watts |
| Voltaje | 120 | Voltios |
| Eficiencia | 67,48 | % |
| Área total activa | 28571,42857 | cm ² |
| 1 Mono celda (Área Activa) | 900 | cm ² (30cm x 30cm) |
| Temperatura de funcionamiento | 60 | °C |
| Resistencia Interna | 0,2 | Ω*cm ² |
| Densidad de Corriente perdido | 0,001 | mA/cm ² |
| Flujo Másico de Aire | 7,149 | g/s |
| Calor generado en la celda | 4820 | Watts |
| Cantidad de generación de agua en celda | 0,93 | g/s |
| Sistema de Humidificación | | |
| Cantidad de Calor necesario | 2546,99 | Watts |
| Cantidad de agua necesaria | 0,869 | gH ₂ O/s |

Tabla 36. Resumen celda 25kW

| RESUMEN | | |
|---|-------------|-------------------------------|
| Potencia | 25000 | Watts |
| Voltaje | 120 | Voltios |
| Eficiencia | 67,48 | % |
| Área total activa | 71428,57143 | cm ² |
| 1 Mono celda (Área Activa) | 900 | cm ² (30cm x 30cm) |
| Temperatura de funcionamiento | 60 | °C |
| Resistencia Interna | 0,2 | Ω*cm ² |
| Densidad de Corriente perdido | 0,001 | mA/cm ² |
| Flujo Másico de Aire | 17,872 | g/s |
| Calor generado en la celda | 12050 | Watts |
| Cantidad de generación de agua en celda | 2,33 | g/s |
| Sistema de Humidificación | | |
| Cantidad de Calor necesario | 6367,48 | Watts |
| Cantidad de agua necesaria | 2,172 | gH ₂ O/s |

Es correspondiente detallar que se necesitará un sistema de refrigeración para que las celdas trabajen a la temperatura correspondiente y no sean superiores y dañen el dispositivo, por lo que se ha creído correspondiente calcular la cantidad de energía y agua será necesaria para el sistema de humidificación.

Siendo el sistema de humidificación un diseño el cual no se desarrollado en presente proyecto.

VIII. CONCLUSIONES

- Las emisiones producidas en la mina Astaldi son de 750,274 toneladas de CO₂ anuales, siendo inferior los cuales se van a dejar de emitir.
- La cantidad de diésel con relación a la de hidrógeno es de 1480 galones a los 602,97 galones semanales de diésel e hidrógeno respectivamente. Generando un ahorro de 14 867 soles.
- Con una eficiencia de 67,47%, hace factible impulsar las diversas maquinarias, y a su vez brindar energía suficiente para los sistemas de iluminación de estas.
- Los sistemas de generación de hidrógeno son totalmente viables ya que contribuyen en el aspecto social a utilizar energía limpia, en el ámbito ambiental a no generan emisiones y respecto al económico pese a su inversión inicial alta esta se amortigua a largo plazo y con los mantenimientos a bajo costo.

IX. RECOMENDACIONES

- En futuros proyectos se recomienda realizar pruebas experimentales para poder ser comparadas con los datos teóricos.
- Considerar la humidificación de los gases la cual influirá con la eficiencia en la que trabaje la celda, es decir, analizar el fenómeno de deshidratación de la membrana en la zona anódica y a afecte ver en cómo afecta el modelo matemático.
- En un futuro estudio se recomienda la obtención del costo de mantenimiento de la planta chancadora y el costo de motores eléctricos que serán necesarios para completar la transmisión de energía.
- Es recomendable realizar un estudio más detallado diversos vehículos existentes solicitando registros históricos más actuales.
- Se debe considerar la evaluación de las necesidades de refrigeración del tipo de celda (la potencia) y aumentar la productividad de estos dispositivos.

X. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <http://personales.ya.com/casanchi/fis/espectros/espectros01.htm>, «consultada el 9 de Agosto de 2010,» 2010.
- [2] L. G. Jodra, «EL HIDROGENO, COMBUSTIBLE DEL FUTURO,» *Rev.RAcad.Cienc.Exact.Fis.Nat*, vol. 99, nº 1, pp. 49-67, 2005.
- [3] U. K. H. A. (UKHA), «"Hydrogen Safety UKHA Fact Sheer Number 2"».
- [4] J. J. ChinarroE. Colomer M.T., «Red de pilas de combustible del CSIC,» Madrid, España , 2002.
- [5] B. plc, «BP Stadistical Review of World Energy 2017,» 2018.
- [6] B. plc, «BP Energy Outlook,» 2017.
- [7] M. d. E. y. M. d. Perú, «Plan energético nacional 2014-2025,» 2014.
- [8] I. J.A., «Desarrollo y validación experimental de un modelo computacional de pilas de combutible tipo PEM y su aplicación al análisis de monoceldas.,» 2010.
- [9] M. K. R. R. M., «"Myles Journal of Power Sources",» pp. 49,37, 1994.
- [10] A. y. A.V, «"Hidrogeno, combustible del futuro" ¿Por qué, Cómo y Dónde?,» *Centro atómico Bariloche*.
- [11] G.J.L., «"El hidrogeno, Combustible del Futuro",» *Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas Naturales*, vol. 99, 2005.
- [12] M. E. G. Sánchez, «EL HIDRÓGENO COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA DE FUTURO,» Marzo 2003.
- [13] W. R. Grove, «On Voltaic Series and the Combination of Gases by Platinum,» *London and Edinburgh Philosophical Magazine and Journal of Science*, pp. 127-130-420-1839.
- [14] A. L. Félix Barrales, «Hidrógeno. Pilas de combustible tipo PEM,» *LITEC, CSIC*.
- [15] A. Iranzo, «Estudio experimental de pilas de combutible tipo PEM».
- [16] j. A. Cano, «Diseño y Fabricación de una Pila de Combustible de Hidrógeno de Baja Potencia,» Enero 2010.
- [17] N. R. Morales, «La Tecnologia de celdas de combustible y su interfase electrónica de potencia para aplicaciones domésticas e Industriales,» Cuervanaca, Mor, 2004.
- [18] U. C. Castillo, «Celdas de combustible: verdades sobre la generación de electricidad limpia y eficiente vía electroquímica».

- [19] J. J. M. Sánchez, «ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA PLACA BIPOLAR DE UNA PILA DE COMBUSTIBLE TIPO PEM».
- [20] APPICE. [En línea]. Available: www.appice.com.
- [21] A. F. Barreras, «Hidrógeno. Pilas de combustible tipo PEM,» 2012.
- [22] O. C. D. C. Climatic, «Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI),» marzo 2011.
- [23] O. M. d. I. Salud, «Proteger la Salud frente al cambio climático,» 2008.
- [24] A. Volvos, «Especificaciones a medida de su VOLVO FH».
- [25] M. CAT. [En línea]. Available: <http://www.madisa.com/producto/maquinaria-pesada/cargadores/cargador-frontal-de-ruedas/cargador-frontal-de-ruedas-950>.
- [26] m. E. result, «NW Series portable crushing and screening plants».
- [27] C. F. Xaudaró, «INYECCIÓN DE HIDRÓGENO COMO POTENCIA DE MEJORA DE LOS MOTORES ACTUALES,» 2010-2011.
- [28] C. F.-B. Badía, *Energética del Hidrógeno Contexto, Estado Actual y Perspectivas de Futuro*, Sevilla, 2005.
- [29] «Los combustibles promediaron alza de S/ 0,40 por galón tras incremento del ISC,» *Diario la Republica*, Mayo 2018.
- [30] Petroperu, «LISTA DE PRECIOS DE COMBUSTIBLES CON IMPUESTOS,» 2018.
- [31] 2018. [En línea]. Available: <https://www.quiminet.com/productos/hidrogeno-135427330/precios.htm>.
- [32] OSINERMIN, «Electromovilidad. Conceptos, políticas y lecciones aprendidas para el Perú,» Lima, 2019.
- [33] F. M. F. BERTÍN, «REALIZAR UN PLAN DE MANTENCIÓN,» VALDIVIA, 2014.
- [34] F. Barbir, «PEM, Celdas de combustible, Teoría y Práctica,» 2013.
- [35] B. plc, «A year of strong delivery and growth,» 2018.
- [36] B. V. P. Mukoba, «Synthesis and characterization of cross-lined chitosan membranes for application as alternative proton exchange membrane in fuel cells.,» *Journal of Power Sources*, pp. 16-23, 2004.
- [37] P. a. S. S. Costamagna, «Quantum Jumps in the PEMFC Science and Technology from the 1960s to the year 2000 Part I and II.,» *J. Power Sources*, pp. 242-252, 2001.
- [38] P. Gómez-Romero, «Pilas de Combustible de Membrana polimérica».
- [39] M. a. X. G. Hogarth, «High Temperature Membranes for Solid Polymer Fuel Cell.,» 2001.

- [40] &. G. R. M. Doyle, Handbook of Fuel Cells, Fundamental Technology and Applications, tercera ed.
- [41] S. R. S.J. Peighambardoust, «Review f the proton exchange membranes for fuel cells.,» 2010.
- [42] K. N. R. Dhathathereyan, Polymer eletrolyte membrane fuel cell, New Dehli: Anamaya Publishers, 2007.
- [43] Y. C. K. B. &. H. V. T. Wan, «New solid polymer electrolyte membranes for alkaline fuel cells.,» *Polymer International*, vol. 54, pp. 5-10, 2005.
- [44] M. J. Laidlerm K.J., Fisicoquímica, Compañia Editorial Continental, 2003.
- [45] A. Balkin, «Modeling a 500W Polymer Electrolyte Membrane FUel Cells,» Faculty of Engineering, University of Techonology, Sydney, Australia, 2002.
- [46] J. R. A. Bockris, Electroquímica Moderna, Valencia: Reverté.
- [47] J. S. Grajeda, " Diseño y Simulacion de una Celda de COMbustible tipo PEM mediante tecnicas de CFD", Mexico: UNAM, 2010.
- [48] I. L. A. Z. C. Ing. Enrique Escobedo Hernández, *MODELADO DINÁMICO PARA CELDAS DE COMBUSTIBLE*, Cuernavaca, Mor. Mexico, 2006.
- [49] M. Morales, «Emulador de Celdas de Combustible,» Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnologico, 2005.

XI ANEXOS

REPORTE DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: Juan Pineda Wilmon
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 03 Nº OPERADORES: 04 Nº CAPATAZES: 01
 Nº OFICIALES: 01 Nº OPERARIOS: 01

FECHA: 29-01-18
 COMBUSTIBLE G.E.: 741 pl
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: 26 pl
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|---------------------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------|------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMION VOLQUETE CAMION | 130TE013 | 5008.1 | 5010.8 | 9 | 135 m ³ | Concreto base |
| 2 | VOLQUETE CARGADOR FRONTAL | 01TE001 | 5277.3 | 5282.0 | | | |
| 3 | CAMION VOLQUETE CAMION | | | | | | |
| 4 | VOLQUETE CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 1 1/2" | | PIEDRA 3/4" | | |
|----------------------------------|----------------------------------|-----------|-------------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|---------------|--------------|-------------|--------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3731.3 | 3737.3 | | | | | | | | |
| 2 | CAMION VOLQUETE CAMION | 130TE013 | | | | | | | | | | |
| 3 | CAMION VOLQUETE CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | | |
| 4 | CAMION VOLQUETE CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|-------------------|-------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMION VOLQUETE | 130TE025 | | | Piedra 1 | 1 | 15 m ³ | C. uchupata |
| 2 | CAMION VOLQUETE | 130TE026 | | | Piedra 1 | 1 | 15 m ³ | C. uchupata |
| 3 | CAMION VOLQUETE | 130TE021 | | | arena conceto | 1 | 15 m ³ | Tunas |
| 4 | CAMION VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| HORA | HORA | TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES: |
|-------|----------|--|
| 1 DE: | 06:00 A: | |
| 2 DE: | A: | Cambio de machillos de molino, cambio de limpiadores de faja piedra 3/4" |
| 3 DE: | A: | Faja retorno a molino, faja descarga primaria |
| 4 DE: | A: | 10:25 Ejercicio general de planta, a cargo material |
| 5 DE: | A: | |
| 6 DE: | A: | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|-------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: | FIRMA: _____ | FIRMA: | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <u>Juan Pineda W.</u> | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: <u>29/01/18</u> | FECHA: / / | FECHA: / / | FECHA: / / |

Fig. 35. Reporte 29/01/18

REPORTE DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

FECHA: 30-01-18

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: Diego Peter Wilman
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 02 Nº OPERADORES: 04 Nº CAPATACES: 01
 Nº OFICIALES: 01 Nº OPERARIOS: 01

COMBUSTIBLE G.E.: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | TIPO DE MATERIAL | |
|---------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|---------|------------------|--|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 1307E013 | | | | | Conteo OBSE | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 027E001 | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------------|----------------------|---------|----------------------|---------|--------------|---------|---------------------|--|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 1" | | PIEDRA 25 - 50 (2") | |
| | | | | | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | | |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3745.0 | 3745.0 | | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 1307E013 | | | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 027E001 | | | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES: | | | |
|---------------------------------|------|--|--|
| HORA | HORA | | |
| 1 DE: 06:00 | A: | Regulación de chancadora secundaria | |
| 2 DE: _____ | A: | Regulación de montador molinos | |
| 3 DE: _____ | A: | | |
| 4 DE: _____ | A: | limpieza de piso ocupó material Limpieza de piso de alimentación | |
| 5 DE: _____ | A: | | |
| 6 DE: _____ | A: | | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|----------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <u>Diego Peter</u> | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: <u>30 / 01 / 18</u> | FECHA: / / | FECHA: / / | FECHA: / / |

Fig. 36. Reporte 30/01/18

REPORTE DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

PROYECTO: P0274 FECHA: 30-01-18
 OPERADOR: *Bendera favor John* COMBUSTIBLE G.E.: _____
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 CODIGO EAM: 201AST001 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 TURNO: DIA NOCHE COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 Nº VIGIAS: 01 Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATACES: _____ COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____
 Nº OFICIALES: _____ Nº OPERARIOS: 01

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|-------------------|------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 3078015 | 5018.3 | 5021.9 | 16 | 225m ³ | Artificial abor |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 0217001 | 5291.5 | 5295.5 | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------------|----------------------|---------|----------------------|---------|---------------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 3/16" - 3/4" | |
| | | | | | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3745.0 | 3753.6 | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 3078013 | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 0217001 | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : | | |
|----------------------------------|----------|----------------------------------|
| HORA | HORA | TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : |
| 1 DE: 18:00 | A: 19:00 | Regulación de mordidos y |
| 2 DE: 19:00 | A: 19:00 | Inspección de planta |
| 3 DE: _____ | A: _____ | |
| 4 DE: _____ | A: _____ | |
| 5 DE: _____ | A: _____ | |
| 6 DE: _____ | A: _____ | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: <i>[Signature]</i> | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <i>Bendera favor John</i> | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: 30/01/18 | FECHA: / / | FECHA: / / | FECHA: / / |

1068 H. Ch. 2018/01/18

Fig. 37. Reporte 30/01/18

REPORTE DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: *Diaz Ferrer Wilmar*
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 02 Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATACES: 01
 Nº OFICIALES: 01 Nº OPERARIOS: 01

FECHA: 31-01-18
 COMBUSTIBLE G.E.: 237 pl
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------|------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 130700013 | 5024.4 | 5026.9 | 14 | 210 m ³ | Concreto obee |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 021700001 | 5298.0 | 5302.5 | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 1" | | PIEDRA 25-50 (2") | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------------|----------------------|--------------|----------------------|--------------|-----------|--------------|-------------------|--|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3753.6 | 3760.5 | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 130700013 | | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 021700001 | | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES: | | |
|---------------------------------|-------|------|
| HORA | DE: | A: |
| 1 DE: | 06:00 | A: |
| 2 DE: | A: | A: |
| 3 DE: | A: | 9:33 |
| 4 DE: | A: | A: |
| 5 DE: | A: | A: |
| 6 DE: | A: | A: |

Regulacion martillos de molino, Ajuste pernos chancadora secundario
Ajuste pernos en banda vibratoria
Limpieza de eje, otopio molino

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: <i>[Firma]</i> | FIRMA: <i>[Firma]</i> | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <i>Diaz Ferrer W.</i> | NOMBRE: <i>Cono Ramirez Jr</i> | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: <i>31/01/2018</i> | FECHA: <i>31/01/2018</i> | FECHA: <i>1 1</i> | FECHA: <i>1 1</i> |

Fig. 38. Reporte 31/01/18

FECHA: 31-01-18

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: Bendezu Tovar Joha
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 01 Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATACES: _____
 Nº OFICIALES: _____ Nº OPERARIOS: 07

COMBUSTIBLE G.E.: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO | | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
|----|------------------|----------|-----------|--------|--------------|---------|------------------|
| | | | INICIAL | FINAL | | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 3070013 | 5029.1 | 5030.8 | 9 | 135.72 | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 02170001 | 5303.5 | 5306.0 | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA | |
|----|-------------------|-----------|-----------|--------|----------------------|---------|----------------------|---------|--------------|---------|
| | | | INICIAL | FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3760.6 | 3768.6 | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 3070013 | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 02170001 | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |

| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO | | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
|----|------------------|----------|-----------|-------|----------------------|--------------|---------|---------|
| | | | INICIAL | FINAL | | | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES:

| HORA | HORA | |
|-------------|------|-----------------------|
| 1 DE: 18:00 | A: | Inspeccion de planta |
| 2 DE: | A: | Requision de material |
| 3 DE: | A: | |
| 4 DE: | A: | |
| 5 DE: | A: | |
| 6 DE: | A: | |

| OPERADOR | | RESPONSABLE DE CAMPO | | RESPONSABLE DE PRODUCCION | | CONTROL DE PROYECTO | |
|----------|------------------|----------------------|-----|---------------------------|-----|---------------------|-----|
| FIRMA: | | FIRMA: | | FIRMA: | | FIRMA: | |
| NOMBRE: | Bendezu Tovar S. | NOMBRE: | | NOMBRE: | | NOMBRE: | |
| FECHA: | 31/01/18 | FECHA: | / / | FECHA: | / / | FECHA: | / / |

Fig. 39. Reporte 31/01/18

FORMULARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: *Diego Perez Wilmar*
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 01 Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATAZES: _____
 Nº OFICIALES: 01 Nº OPERARIOS: 01

FECHA: 01-02-18
 COMBUSTIBLE G.E.: 277 lit
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------|------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 201AST001 | 3035.1 | 3036.6 | 9 | 133 m ³ | continuo DBEC |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 0217ER001 | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|-----------|-------------------|-----------------|----------------------|---------|----------------------|---------|----------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 1" / 2" | |
| | | | | | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3766.6 | 3772.8 | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES: | | |
|---------------------------------|-------|----|
| HORA | DE: | A: |
| 1 DE: | 06:00 | A: |
| 2 DE: | | A: |
| 3 DE: | | A: |
| 4 DE: | | A: |
| 5 DE: | | A: |
| 6 DE: | | A: |

Regulación mortillos de molino, Cambio de limpiadores de foja de mango primario, Cambio de baleros foja de mango primario, Revo de placas de impacto de molino, Recipio material, Inspección planta, Limpieza de boca, Limpieza de piso sedimentación.

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|-------------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: <i>[Firma]</i> | FIRMA: <i>[Firma]</i> | FIRMA: <i>[Firma]</i> | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <i>Diego Perez W.</i> | NOMBRE: <i>Michael Carrero</i> | NOMBRE: <i>[Nombre]</i> | NOMBRE: _____ |
| FECHA: 01/02/2018 | FECHA: 01/02/2018 | FECHA: 1/1 | FECHA: 1/1 |

Fig. 40. Reporte 01/02/18

FECHA: 01-02-18

PROYECTO : P0274
 OPERADOR : *Bendezu Tovar Sohnd*
 EQUIPO : PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM : 201AST001 NOCHE
 TURNO : DIA NOCHE
 Nº VIGIAS : 01 Nº OPERADORES : 03 Nº CAPATAZES :
 Nº OFICIALES : Nº OPERARIOS : 01

COMBUSTIBLE G.E. :
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1 :
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2 :
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1 :
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2 :

| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO | | MATERIAL DE CANTERA | | TIPO DE MATERIAL | |
|----|------------------|-----------|-----------|--------|---------------------|--------------------|------------------|--|
| | | | INICIAL | FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 130701013 | 5037.1 | 5040.6 | 15 | 225 m ³ | Natural abck | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | 021701001 | 5314.0 | 5317.5 | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 3/16" | | PIEDRA 3/4" | |
|----|-------------------|-----------|-----------|--------|----------------------|---------|----------------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| | | | INICIAL | FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3772.8 | 3780.7 | | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 130701013 | | | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 021701001 | | | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | | |

| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO | | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
|----|------------------|----------|-----------|-------|----------------------|--------------|---------|---------|
| | | | INICIAL | FINAL | | | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| HORA | HORA | TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : |
|-------------|----------|----------------------------------|
| 1 DE: 18:00 | A: 18:00 | Regulación de partes del molino |
| 2 DE: 18:00 | A: 18:00 | inspección de planta |
| 3 DE: 18:00 | A: 18:00 | acopió el material |
| 4 DE: 18:00 | A: 18:00 | |
| 5 DE: 18:00 | A: 18:00 | |
| 6 DE: 18:00 | A: 18:00 | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: <i>[Firma]</i> | FIRMA: | FIRMA: | FIRMA: |
| NOMBRE: <i>Bendezu Tovar S.</i> | NOMBRE: | NOMBRE: | NOMBRE: |
| FECHA: 01/02/18 | FECHA: / / | FECHA: / / | FECHA: / / |

Fig. 41 Resumen 01/02/18

FECHA: 02-02-18

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: Diol PERE Wilson
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 01 Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATACES: 01
 Nº OFICIALES: 01 Nº OPERARIOS: 01

COMBUSTIBLE G.E.: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|---------|------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 13044003 | | | | | Continuo OB2K |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 02114000 | 5320.5 | 5325.0 | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | ARENA 0-5 mm (3/16") | PIEDRA 1" | PIEDRA 25 - 50 (2") | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------|---------------------|---------|--------------|---------|--------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 201AST001 | 3750.7 | 3786.8 | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 13044003 | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 02114000 | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|------------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 13044003 | | | arena concreto | 1 | 15m ³ | Turkey |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : | | |
|----------------------------------|----------|---|
| HORA | HORA | TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : |
| 1 DE: 06:00 | A: 06:15 | Regulación molinos de molino, cambio de perras de mallo en secado vibratoria, limpieza de area, acopio material |
| 2 DE: _____ | A: _____ | |
| 3 DE: _____ | A: _____ | |
| 4 DE: _____ | A: _____ | |
| 5 DE: _____ | A: _____ | |
| 6 DE: _____ | A: _____ | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|-----------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: Diol Pere W. | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: 02 / 02 / 2018 | FECHA: / / | FECHA: / / | FECHA: / / |

Fig. 42. Reporte 02/02/18

PROYECTO : P0274
 OPERADOR : *Bendezu Javier Sonei*
 EQUIPO : PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM : 201AST001
 TURNO : DIA NOCHE
 Nº VIGIAS : *01* Nº OPERADORES : *03* Nº CAPATACES :
 Nº OFICIALES : Nº OPERARIOS : *01*

FECHA: *02-02-18*
 COMBUSTIBLE G.E. :
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1 :
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2 :
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1 :
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2 :

| MATERIAL DE CÁNTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|---------------|----------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE CAMIÓN | <i>13070015</i> | <i>5047.0</i> | <i>5049.4</i> | <i>13</i> | <i>195 m³</i> | <i>Material obra</i> |
| 2 | VOLQUETE CARGADOR | | | | | | |
| 3 | FRONTAL CARGADOR | <i>0270001</i> | <i>5326.0</i> | <i>5329.5</i> | | | |
| 4 | FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | ARENA 0-5 mm (3/16") | PIEDRA 3/4" | PIEDRA 1 1/4" | |
|----------------------------------|------------------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-------------|---------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | <i>201057001</i> | <i>3786.8</i> | <i>5794.1</i> | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE CAMIÓN | <i>13070015</i> | | | | | | |
| 3 | VOLQUETE CARGADOR | | | | | | | |
| 4 | FRONTAL CARGADOR | <i>0270001</i> | | | | | | |
| 5 | FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| HORA | HORA | TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : |
|--------------------|------|--|
| 1 DE: <i>18:00</i> | A: | <i>Reparación de muelles del motor</i> |
| 2 DE: | A: | <i>Inspección de fente</i> |
| 3 DE: | A: | <i>revisión de muelles</i> |
| 4 DE: | A: | |
| 5 DE: | A: | |
| 6 DE: | A: | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|----------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: <i>[Signature]</i> | FIRMA: | FIRMA: | FIRMA: |
| NOMBRE: <i>Bendezu Javier S.</i> | NOMBRE: | NOMBRE: | NOMBRE: |
| FECHA: <i>02/02/18</i> | FECHA: <i>1 1</i> | FECHA: <i>1 1</i> | FECHA: <i>1 1</i> |

Fig. 43. Reporte 02/02/18

| REPORTE DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS | | | | | | | | | | AFORO 195 | |
|---|-------------------|----------|---|-----------------|----------------------|---------------------------|----------------------|----------------------|---------------------|-------------------------|--|
| PROYECTO: P0274 | | | | | | | | | | FECHA: 29-01-18 | |
| OPERADOR: <i>Bendev torer Johal</i> | | | | | | | | | | COMBUSTIBLE G.E.: | |
| EQUIPO: PLANTA CHANCADORA | | | | | | | | | | COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: | |
| CODIGO EAM: 201AST001 | | | | | | | | | | COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: | |
| TURNO: <input type="checkbox"/> DIA <input checked="" type="checkbox"/> NOCHE | | | | | | | | | | COMBUSTIBLE CARGADOR 1: | |
| Nº VIGIAS: 01 Nº OPERADORES: 07 Nº CAPATACES: | | | | | | | | | | COMBUSTIBLE CARGADOR 2: | |
| Nº OFICIALES: | | | | | | | | | | Nº OPERARIOS: 01 | |
| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | | | | | |
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL | | | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 3017003 | 5012.0 | 5014.6 | 12 | 180m ³ | <i>material obca</i> | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 0174001 | 5283.5 | 5284.0 | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | |
| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | | | | | | | | |
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | ARENA SHOTCRETE 3/8" | ARENA 0-5 mm (3/16") | PIEDRA 1" | PIEDRA 25 - 50 (2") | |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 0101700 | 3737.3 | 3745.0 | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 3017003 | 5014.6 | 5017.7 | | | 6 | 72m ³ | 3 | 30m ³ | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 0174001 | 5287.0 | 5288.5 | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | |
| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | | | | |
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO | | | |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | |
| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES: | | | | | | | | | | | |
| 1 | DE: | A: | <i>Regulación de martillos del molino</i> | | | | | | | | |
| 2 | DE: | A: | <i>Inspección de planta</i> | | | | | | | | |
| 3 | DE: | A: | <i>alceado de material</i> | | | | | | | | |
| 4 | DE: | A: | | | | | | | | | |
| 5 | DE: | A: | | | | | | | | | |
| 6 | DE: | A: | | | | | | | | | |
| OPERADOR | | | RESPONSABLE DE CAMPO | | | RESPONSABLE DE PRODUCCION | | | CONTROL DE PROYECTO | | |
| FIRMA: <i>[Signature]</i> | | | FIRMA: | | | FIRMA: | | | FIRMA: | | |
| NOMBRE: <i>Bendev torer J.</i> | | | NOMBRE: | | | NOMBRE: | | | NOMBRE: | | |
| FECHA: 29/01/18 | | | FECHA: / / | | | FECHA: / / | | | FECHA: / / | | |

Fig. 44. Reporte 29/01/18

FECHA: 03-02-18

OPERADOR: Bendezu tovar soha
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: 01 Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATACES: _____
 Nº OFICIALES: _____ Nº OPERARIOS: 01

COMBUSTIBLE G.E.: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|--------------|--------------------------|----------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | <u>13076003</u> | <u>5056.8</u> | <u>5059.4</u> | <u>14</u> | <u>210 m³</u> | <u>Material obra</u> |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | <u>02176001</u> | <u>5333.5</u> | <u>5338.5</u> | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | ARENA SHOTCRETE 3/8" | ARENA 0-5 mm (3/16") | PIEDRA 3/16 3/4 | PIEDRA 3/4-1" | | | |
|----------------------------------|-------------------|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------|---------------|---------|--------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | <u>201AST001</u> | <u>3794.1</u> | <u>3802.9</u> | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | <u>13076003</u> | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | <u>02176001</u> | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|---------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| HORA | HORA | TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : |
|-------------|----------|----------------------------------|
| 1 DE: _____ | A: _____ | |
| 2 DE: _____ | A: _____ | |
| 3 DE: _____ | A: _____ | |
| 4 DE: _____ | A: _____ | |
| 5 DE: _____ | A: _____ | |
| 6 DE: _____ | A: _____ | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|---------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <u>Bendezu tovar s.</u> | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: <u>03/02/18</u> | FECHA: <u>/ /</u> | FECHA: <u>/ /</u> | FECHA: <u>/ /</u> |

Fig. 45 Reporte 03/02/18

REPORTE DIARIO DE PRODUCCION DE AGREGADOS

PROYECTO: P0274
 OPERADOR: Dioz Perez Wilman
 EQUIPO: PLANTA CHANCADORA
 CODIGO EAM: 201AST001
 TURNO: DIA NOCHE
 Nº VIGIAS: _____ Nº OPERADORES: 03 Nº CAPATACES: 01
 Nº OFICIALES: 01 Nº OPERARIOS: 02

FECHA: 04-02-18
 COMBUSTIBLE G.E.: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 1: _____
 COMBUSTIBLE VOLQUETE 2: _____
 COMBUSTIBLE CARGADOR 1: 27 pl
 COMBUSTIBLE CARGADOR 2: _____

| MATERIAL DE CANTERA | | | | | | | |
|---------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|--------------|-------------------|------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | TIPO DE MATERIAL |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 13070013 | 5061.7 | 5062.6 | 5 | 75 m ³ | Contorno c/ceca |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | |
| 3 | CARGADOR FRONTAL | 02170001 | 5340.5 | 5342.0 | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |

| PRODUCTO DE LA PLANTA CHANCADORA | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|---------|----------------------|---------|--------------|---------|---------------------|---------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | ARENA SHOTCRETE 3/8" | | ARENA 0-5 mm (3/16") | | PIEDRA 1" | | PIEDRA 25 - 50 (2") | |
| | | | | | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | Nº DE VIAJES | VOLUMEN |
| 1 | PLANTA CHANCADORA | 02170001 | 3802.9 | 3806.1 | | | | | | | | |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 13070013 | | | | | | | | | | |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | | | | | |
| 4 | CARGADOR FRONTAL | 02170001 | | | | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | | |

| MATERIAL DE DESPACHO | | | | | | | | |
|----------------------|------------------|----------|-------------------|-----------------|----------------------|--------------|-------------------|-------------------|
| Nº | EQUIPO | COD. EAM | HOROMETRO INICIAL | HOROMETRO FINAL | MATERIAL DE DESPACHO | Nº DE VIAJES | VOLUMEN | DESTINO |
| 1 | CAMIÓN VOLQUETE | 13070025 | | | arena concreto | 1 | 15 m ³ | Comp. v. despacho |
| 2 | CAMIÓN VOLQUETE | 13070026 | | | arena concreto | 1 | 15 m ³ | Comp. v. despacho |
| 3 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 4 | CAMIÓN VOLQUETE | | | | | | | |
| 5 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |
| 6 | CARGADOR FRONTAL | | | | | | | |

| TIPO DE PARADA - OBSERVACIONES : | | | |
|----------------------------------|----------|---|--|
| HORA | HORA | | |
| 1 DE: 06:00 | A: _____ | Reposición morteros de adorno, punto de poner droncodora primario | |
| 2 DE: _____ | A: 10:12 | limpieza de sitio, ocupio material | |
| 3 DE: _____ | A: _____ | | |
| 4 DE: _____ | A: _____ | | |
| 5 DE: _____ | A: _____ | | |
| 6 DE: _____ | A: _____ | | |

| OPERADOR | RESPONSABLE DE CAMPO | RESPONSABLE DE PRODUCCION | CONTROL DE PROYECTO |
|------------------------------|----------------------|---------------------------|---------------------|
| FIRMA: | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ | FIRMA: _____ |
| NOMBRE: <u>Dioz Perez W.</u> | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ | NOMBRE: _____ |
| FECHA: <u>04 / 02 / 18</u> | FECHA: <u> / /</u> | FECHA: <u> / /</u> | FECHA: <u> / /</u> |

Fig. 46. Reporte 04/02/18

BEST Diesel Service GGR. E.I.R.L.

R.U.C. N° 20538957861

GRUPO GARGUREVICH RAZURI E.I.R.L.**PRESUPUESTO**VICENTE RUSSO N° 385 ☎ 074-204402
P.J. JOSE OLAYA - CHICLAYO

N° 002256

Chiclayo, de 04 Diciembre del 2019

| | | | |
|----------------------|------------------------------|-------------------|----------------|
| Sr.(es): | FERNANDO URRUTIA | | |
| Dirección: | Chiclayo Chiclayo Lambayeque | | |
| Teléfono: | | R.U.C.: | 1XXXXXXXXXX |
| Lugar de Entrega: | Chiclayo | Plazo de Entrega: | 15 Días Útiles |
| Condiciones de Pago: | Contado | Orden de Trabajo: | 001953 |

| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCION | P. UNIT. | TOTAL |
|------|----------|---|----------|---------------|
| | | Por Servicio de Mantenimiento Correctivo de 01 Motor Marca Perkins Que Equipa a Retroexcavadora marca Caterpillar Modelo 420F2 Euro III | | |
| 01 | 01 | Mano de Obra de Motor | | US. 900.00 |
| 02 | 01 | Misceláneos | | 95.00 |
| 03 | 01 | Rectificaciones del Motor | | 940.00 |
| 04 | 01 | Repuestos de Motor | | 4,220.00 |
| 05 | 01 | Mantenimiento Correctivo del Sistema Diesel | | 1,660.00 |
| 06 | 01 | Mantenimiento Correctivo al Turbo | | 1,100.00 |
| 07 | 01 | Mantenimiento Correctivo al Sistema Eléctrico | | 400.00 |
| 08 | 01 | Mantenimiento Preventivo al Sistema de Refrigeración | | 330.00 |
| 09 | 01 | Lubricantes, Filtros, Refrigerante | | 540.00 |
| | | | | ----- |
| | | | Total: | US. 10,185.00 |
| | | Incluye: IMPUESTOS GARANTIA | | |
| | | En caso De Abonar en la Cta. Cte. ME. 305-2032091-1-89 BCP | | |
| | | En caso de Abonar en la Cta. Cte. ME 0004917844 SCOTIABANK | | |
| | | CTA DETRACCION 00231165703 BANCO NACION | | |
| | | GGR. E.I.R.L. Gloria G. Gargurevich Razuri PRESIDENTE | | |

Fig. 47. Presupuesto Maquinaria Retroexcavadora

BEST Diesel Service GGR. E.I.R.L.

R.U.C. N° 20538957861

GRUPO GARGUREVICH RAZURI E.I.R.L.**PRESUPUESTO**VICENTE RUSSO N° 385 ☎ 074-204402
P.J. JOSE OLAYA - CHICLAYO

N° 002255

Chiclayo, de del 201.....
04 Diciembre 9Sr.(es): **FERNANDO URRUTIA**

Dirección: Chiclayo Chiclayo Lambayeque

Teléfono: R.U.C.: 1XXXXXXXXX

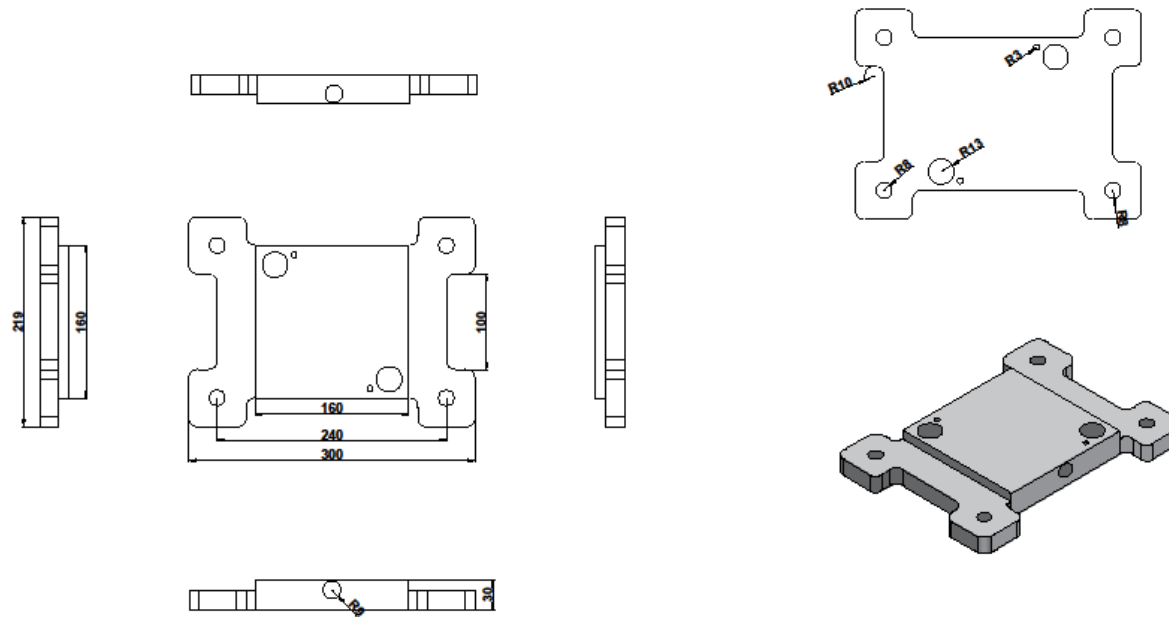
Lugar de Entrega: Chiclayo Plazo de Entrega: 15 Días Útiles

Condiciones de Pago: Contado Orden de Trabajo: 001953

| ITEM | CANTIDAD | DESCRIPCION | P. UNIT. | TOTAL |
|------|----------|--|----------|---------------------|
| | | Por Servicio de Mantenimiento Correctivo de 01 Motor Diesel Modelo TD120FS Que Equipa a Volvo NL10 Euro II | | |
| 01 | 01 | Mano de Obra de Motor | | US. 950.00 |
| 02 | 01 | Misceláneos | | 95.00 |
| 03 | 01 | Rectificaciones del Motor | | 885.00 |
| 04 | 01 | Repuestos de Motor | | 3,662.00 |
| 05 | 01 | Mantenimiento Correctivo del Sistema Diesel | | 1,030.00 |
| 06 | 01 | Mantenimiento Correctivo al Turbo | | 711.00 |
| 07 | 01 | Mantenimiento Correctivo al Sistema Eléctrico | | 300.00 |
| 08 | 01 | Mantenimiento Preventivo al Sistema de Refrigeración | | 470.00 |
| 09 | 01 | Lubricantes, Filtros, Refrigerante | | 520.00 |
| | | | | ----- |
| | | | | Total: US. 8,623.00 |
| | | Incluye: IMPUESTOS GARANTIA | | |
| | | En caso De Abonaren la Cta. Cte. ME. 305-2032091-1-89 BCP | | |
| | | En caso de Abonaren la Cta. Cte. ME 0004917844 SCOTIABANK | | |
| | | CTA DETRACCION 00231165703 BANCO NACION | | |

GGR. E.I.R.L.
Gloria G. Gargurevich Razuri
SEÑALANTE

Fig. 48. Presupuesto Maquinaria VOLVO NL10



UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

Cant.: 1

Formato: A3

Escala: 1:4

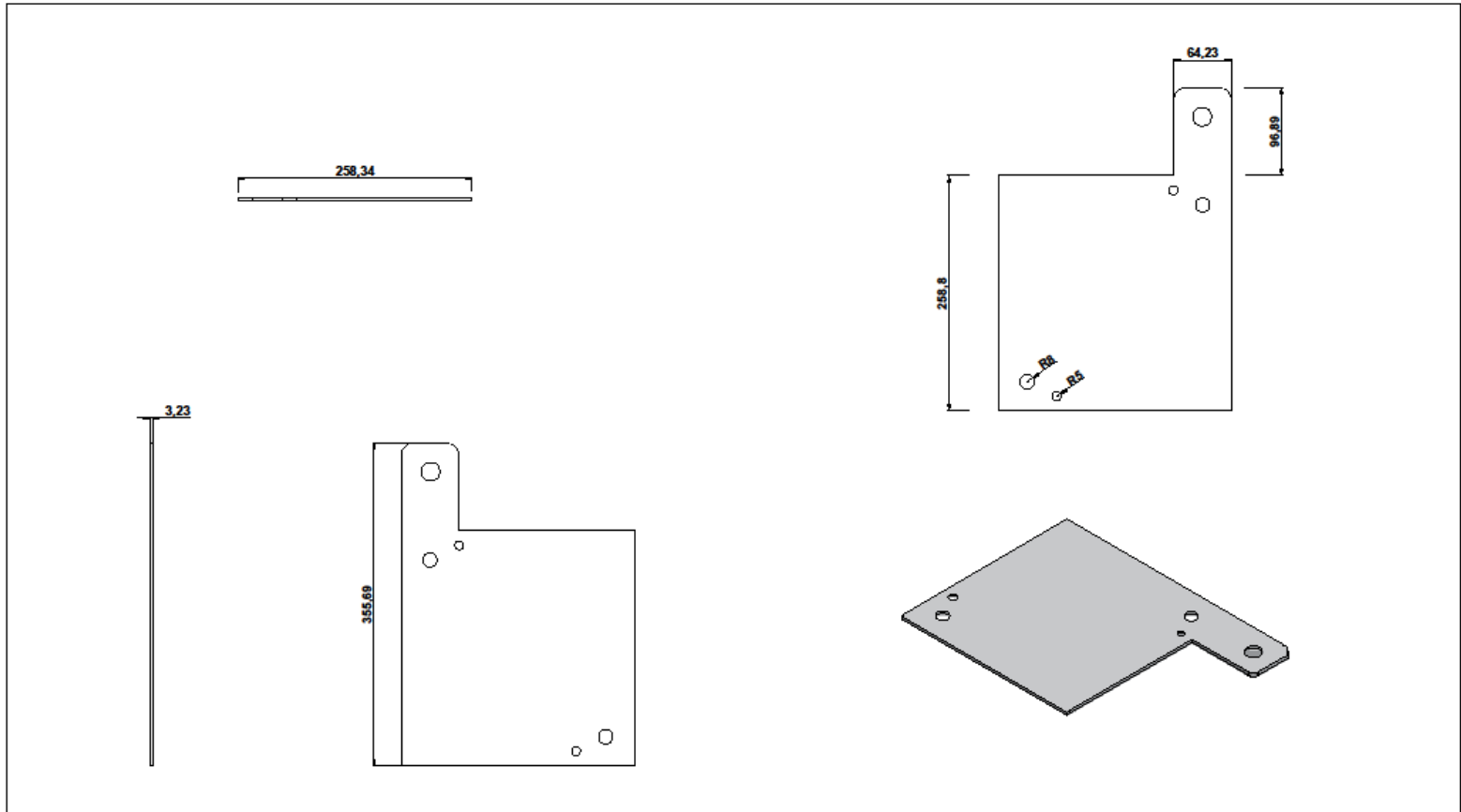
Fecha: 03/20




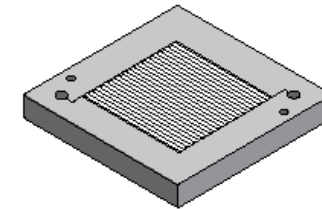
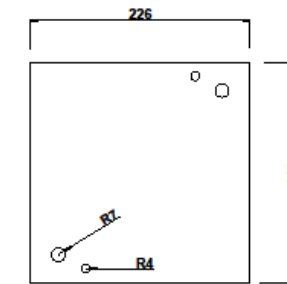
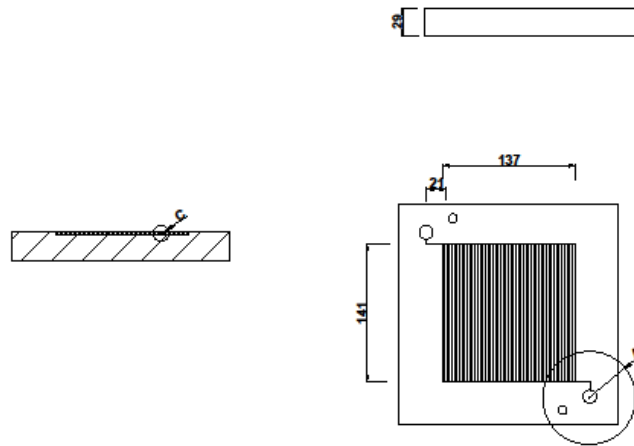
Pieza: Base de la placa

Diseñador: Edgard Fernando Urrutia Gonzales

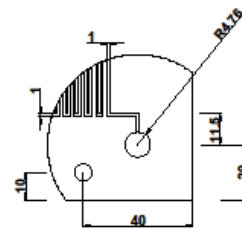
Revisor: Ing. Lucio Llontop




| | | |
|---|---|-------------|
| UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO | | Cant.: 1 |
| | | Formato: A3 |
|  <p>USAT Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo</p> | Pieza: Colector de placa | Escala: 1:4 |
| | Fecha: 03/20 | |
| | Diseñador: Edgard Fernando Urrutia Gonzales | |
| Revisor: Ing. Lucio Llontop | | |

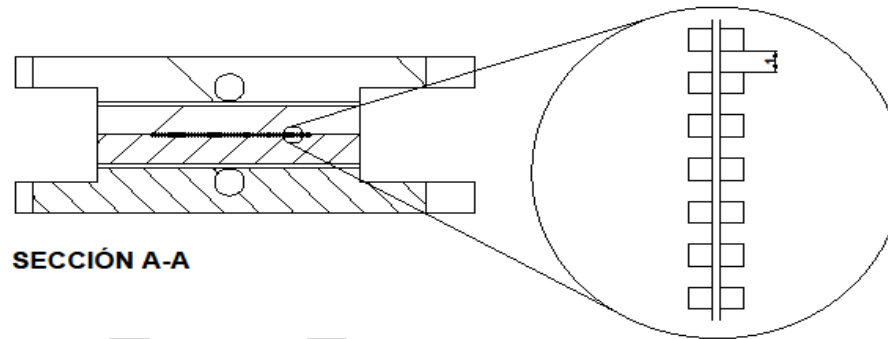


DETALLE C
ESCALA: 1:2

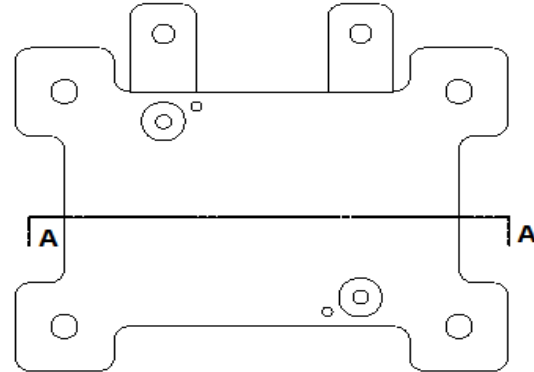



DETALLE A
ESCALA: 1:2

| | | |
|---|---|--------------|
| UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO | | Cant.: 1 |
| | | Formato: A3 |
|  | Pieza: Placa Bipolar | Escala: 1:4 |
| | Diseñador: Edgard Fernando Urrutia Gonzales | Fecha: 03/20 |
| | Revisor: Ing. Lucio Llontop | |



SECCIÓN A-A



| | | |
|---|---|--------------|
| UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO | | Cant.: 1 |
| | | Formato: A3 |
| | | Escala: 1:4 |
| | | Fecha: 03/20 |
|  | Pieza: Ensamble de la Placa | |
| | Diseñador: Edgard Fernando Urrutia Gonzales | |
| | Revisor: Ing. Lucio Llontop | |